

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ À

L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN SCIENCE DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

PAR

ANNY CARON

AUGMENTATION DE L'OXYDATION DES GLUCIDES EXOGÈNES À  
L'EXERCICE AVEC L'INGESTION DE GLUCOSE PRÉ EXERCICE

OCTOBRE 1999

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

## RÉSUMÉ

Selon la littérature, l'oxydation du glucose pour la production d'énergie semble être limitée par son entrée et son utilisation dans la cellule. Donc, le but de l'étude était d'augmenter l'insulinémie par une dose massive de glucose exogène pour favoriser son entrée et son utilisation dans la cellule.

Les sujets ont réalisé quatre exercices de 120 minutes à 65 % du  $\dot{V}O_2$  max ( $2,42 \pm 0,05$  L/min) sur ergocycle en ingérant soit : un placebo avant et pendant l'exercice (pla/pla), un placebo avant l'exercice et 160 grammes de glucose marqué au carbone 13 ( $^{13}C$ ) pendant l'exercice (pla/glu\*), du glucose avant et du glucose marqué au  $^{13}C$  pendant l'exercice (glu/glu\*), du glucose marqué  $^{13}C$  au avant l'exercice et du glucose pendant l'exercice (glu\*/glu). Les tests étaient séparés par au moins une semaine d'intervalle et se déroulait à simple insue. Des mesures de calorimétrie indirecte ont permis de mesurer le  $\dot{V}O_2$  et le  $VCO_2$ , la collecte des gaz expirés a permis de mesurer le ratio  $^{13}C/^{12}C$  et des échantillons sanguins ont été prélevés pour des analyses biochimiques. Ces techniques ont permis d'obtenir l'oxydation: des lipides totaux, des glucides totaux, des glucides endogènes et des glucides exogènes, en plus des concentrations plasmatiques de glucose, d'insuline et d'acides gras libres pour les différentes conditions expérimentales.

Les sujets ont ingéré une dose de 50 grammes de glucides 30 minutes avant le début de l'exercice dans le but d'augmenter l'insulinémie en espérant qu'elle resterait élevée tout au long de l'exercice. Dans les faits, l'insulinémie était significativement

plus élevée avec l'ingestion de glucose durant l'exercice qu'avec l'ingestion d'un placebo durant l'exercice ( $p < 0,05$ ). La dose de glucose pré exercice n'a donc pas d'effet sur l'insulinémie per exercice.

Il est bien connu que l'ingestion de glucides lors d'un exercice prolongé contribue à diminuer la fatigue et à augmenter la performance. L'ingestion d'une dose de 50 grammes de glucose pré exercice n'a pas influencée significativement au cours de l'exercice de 120 minutes l'oxydation des lipides (pla/pla :  $46,5 \pm 5,04$  g; pla/glu\* :  $39,0 \pm 4,77$  g; glu/glu\* :  $39,1 \pm 4,87$  g; glu\*/glu :  $45,3 \pm 4,10$  g), ni celle des glucides totaux (pla/pla :  $260,4 \pm 14,5$  g; pla/glu\* :  $289,1 \pm 18,5$  g; glu/glu\* :  $283,8 \pm 18,2$  g; glu\*/glu :  $265,6 \pm 18,4$  g). L'ingestion de glucides exogènes, peu importe le moment de l'ingestion, a permis d'économiser les réserves endogènes de glucides ( $p < 0,05$ ). Dans les faits, plus la quantité de glucose exogène ingérée est élevée, plus il y a d'économie des réserves endogènes de glucides ( $p < 0,05$ ). L'ingestion de glucose pré et per exercice permet d'oxyder significativement plus de glucides exogènes qu'au cours de toutes les autres conditions (glu\*/glu\* :  $79,2 \pm 2,96$ ; pla/glu\* :  $52,8 \pm 2,61$ ; glu/glu\* :  $43,0 \pm 1,45$ ; glu\*/glu :  $36,3 \pm 2,37$ ).

En conclusion, ce n'est pas l'insulinémie plus élevée qui a permis d'augmenter la quantité des glucides exogènes oxydés, mais bien, la quantité plus importante de glucose ingéré durant la condition glu\*/glu\*, suggérant la quantité de glucose ingérée comme potentialisateur de l'oxydation des glucides exogènes.

## REMERCIEMENTS

Je profite de ces quelques lignes pour remercier M. Denis Massicotte et M. François Péronnet qui lors de mon séjour à Montréal, et même après, ont multiplié les explications et les recommandations. Merci à Yan Burelle pour son aide précieuse au laboratoire.

Merci à vous chers sujets qui avez mangé des quantités astronomiques de pâtes et qui vous êtes pliés à toutes ces contraintes.

Mme Guay, vous avez eu la gentillesse de relire mon texte, merci!

À toi David, pour les nombreuses photocopies et pour tous les problèmes d'informatique que tu as résolus, je te remercie. À vous chers parents, qui m'avez donné les outils pour me rendre jusqu'ici, vous avez toute ma gratitude. J'ai une pensée pour toi Martine, qui d'en haut m'a donné beaucoup de force pour continuer.

Carole, ta gentillesse n'a d'égal que ton professionnalisme, ta patience que ton intelligence, ton écoute que tes bons conseils. Merci pour tout.

## TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ .....	i
REMERCIEMENTS .....	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES FIGURES .....	vii
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	viii
CHAPITRES	
I INTRODUCTION .....	1
II REVUE DE LITTÉRATURE.....	3
Glucides ou lipides, quel substrat favoriser? .....	3
Disponibilité des glucides .....	4
Glucides exogènes et performance .....	5
Glucides exogènes et oxydation des glucides et des lipides totaux .....	16
Oxydation des glucides exogènes .....	27
Absorption et vidange gastrique des glucides exogènes .....	28
Efficacité des différents types de glucides exogènes .....	30
Glucides exogènes et glycémie .....	35
Glucides exogènes et insulínémie .....	52
Problématique .....	65
Hypothèse .....	66
III MÉTHODOLOGIE.....	67
Sujets.....	67
Évaluation des sujets.....	67
-Test de tolérance au glucose .....	67
-Test d'effort maximal progressif .....	68
-Protocole expérimental .....	68

	Conditions expérimentales.....	70
	Mesures.....	72
	- Les gaz.....	72
	Les échantillons sanguins.....	73
	Calculs.....	75
	Analyse statistiques.....	75
IV	RÉSULTATS.....	76
	Caractéristiques des sujets.....	76
	Caractéristiques du travail.....	77
	Paramètres sanguines.....	78
	- Glycémie.....	78
	- Insulinémie.....	78
	- Acides gras libres.....	79
	Oxydation des lipides.....	80
	Oxydation des glucides.....	81
	- Oxydation des glucides totaux.....	81
	- Oxydation des glucides exogènes.....	81
	- Oxydation des glucides endogènes.....	83
	Pourcentage d'énergie des différents substrats.....	84
V	DISCUSSION.....	97
	Résumé.....	97
	Effet de l'insuline.....	98
	Oxydation du glucose exogène.....	101
VI	CONCLUSION.....	104
	RÉFÉRENCES.....	105

## LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Page
1. Performance moyenne rencontrée dans la littérature des dernières années lorsque les sujets ont ingérés des glucides avant et/ou pendant l'exercice.....	9
2. Oxydation moyenne des glucides et des lipides rapportée par la littérature des dernières années chez les sujets qui ont ingéré des glucides avant et/ou pendant l'exercice.....	19
3. Oxydation moyenne des glucides exogènes (en grammes), pourcentage de la quantité de glucides ingérés qui est oxydé et contribution de ces glucides à la fourniture d'énergie tel que rapporté par la littérature des dernières années .....	32
4. Moyennes de glycémie (mmol/L) observée au repos, au début de l'exercice, au pic pendant l'exercice et à la fin de l'exercice telles que rapportées par la littérature des dernières années lorsque les sujets ont ingéré des glucides avant et/ou pendant l'exercice.....	39
5. Moyennes d'insulinémie observée au repos, au début de l'exercice, au pic pendant l'exercice et à la fin de l'exercice telles que rapportés par la littérature depuis 1994 lorsque les sujets ont ingéré des glucides avant et/ou pendant l'exercice.....	55
6. Description des repas standardisés.....	69
7. Conditions expérimentales.....	71
8. Description des sujets.....	76
9. Fréquences cardiaque, $\dot{V}O_2$ , $\dot{V}CO_2$ , dépense énergétique et intensité de travail pour chacune des conditions expérimentales au cours de l'exercice de 120 minutes.....	77
10. Pourcentage d'énergie fourni par les lipides, les glucides endogènes et le glucose exogène pour chacune des conditions expérimentales.....	85



## LISTE DES FIGURES

Figures	Page
1. Protocole expérimental.....	74
2. Concentration plasmatique de glucose en fonction du temps.....	87
3. Concentration d'insuline plasmatique en fonction du temps.....	88
4. Concentration plasmatique d'acides gras libres en fonction du temps...	89
5. Quantité de lipides oxydés au cours de l'exercice de 120 minutes.....	90
6. Cinétique de l'oxydation des lipides au cours de l'exercice de 120 minutes.....	91
7. Quantité de glucides oxydés au cours de l'exercice de 120 minutes.....	92
8. Quantité de glucose exogène oxydé au cours de l'exercice de 120 minutes.....	93
9. Cinétique de l'oxydation du glucose exogène au cours de l'exercice de 120 minutes.....	94
10. Quantité de glucides endogènes oxydés au cours de l'exercice de 120 minutes.....	95
11. Cinétique de l'oxydation des glucides endogènes au cours de l'exercice.....	96

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

$^{13}\text{C}$	Carbone 13
$^{12}\text{C}$	Carbone 12
AGL	Acides gras libres
ATP	Adénosine tri-phosphate
Bat	Battement
$^{\circ}\text{C}$	Degré Celsius
CHO	Glucide
CLP	Réserve de glycogène remplies
CP	Créatine phosphate
En	Entraîné
ES	Erreur standard de la moyenne
G	Gramme
Glu	Glucose
Glut-4	Transporteur de glucose 4
I	Ingestion
ICK	Intermédiaires du cycle de Krebs
Kg	Kilogramme
L	Litre
LFR	Faible quantité de liquide de remplacement
M	Mètres
MCT	Chaîne médium de triglycéride

MGA	Medical gas analyser
Min	Minute
ml	Millilitres
mmol/L	Millimole par litre
N/D	Non-disponible
N-En	Non-entraîné
NLC	Sujets avec réserves de glycogène déplétée
O <sub>2</sub>	Oxygène
PCHO	Pauvre en glucides
PG	Polymère de glucose
PHG	Production hépatique de glucose
PLA	Placebo
Pmol	Picomole
RCHO	Riche en glucides
TTG	Test de tolérance au glucose
VCO <sub>2</sub>	Volume de dioxyde de carbone (devrait se lire $\dot{V}\text{CO}_2$ )
$\dot{V}\text{O}_2$	Volume d'oxygène
$\dot{V}\text{O}_2$ max	Consommation maximale d'oxygène
♀	Féminin
♂	Masculin

## **CHAPITRE I**

### **INTRODUCTION**

Les besoins énergétiques de l'organisme sont comblés principalement par l'oxydation des lipides et des glucides. À l'exercice, les besoins énergétiques sont d'abord comblés par les réserves musculaires d'adénosine triphosphate (ATP) puis par les réserves de créatine phosphate (CP). En fonction de l'intensité de l'exercice, ces réserves peuvent durer de six secondes à une minute. Quelques secondes après le début de l'exercice, un nouveau système de fourniture d'énergie se met en branle. Il s'agit du système anaérobie lactique, l'énergie provenant alors des sources endogènes de glucides. Puisque les glucides endogènes ne sont pas illimités et que la production d'acide lactique amène de l'inconfort, l'énergie doit rapidement provenir d'un autre système d'autant plus que le système anaérobie lactique est beaucoup moins efficace qu'un système impliquant de l'oxygène. C'est le système aérobie alactique qui pourra alors prendre la relève. Les substrats servant à alimenter ce système peuvent alors provenir de plusieurs sources. En effet, il pourra y avoir la contribution d'une combinaison des substrats suivants : glucides endogènes (glycogène hépatique et musculaire ainsi que le glucose circulant), glucides exogènes, lipides endogènes.

Lorsqu'un exercice est de faible intensité et de courte durée, la fourniture d'énergie ne pose pas de problèmes puisque les systèmes de fourniture d'énergie permettent de répondre efficacement à la demande. En effet, dans ce cas, une partie

importante de l'énergie provient des lipides et cette réserve est pratiquement illimitée. Par contre, lorsque l'exercice augmente en durée et/ou en intensité, il faut porter une attention spéciale à l'alimentation pré (augmentation des réserves de glycogènes hépatique et musculaire) et per (ingestion de glucides durant l'exercice) exercice de façon à avoir le meilleur substrat énergétique durant l'exercice.

L'augmentation de la performance et un retard dans l'apparition de la fatigue ont souvent été associés avec l'ingestion de glucides à l'exercice. Ceci s'explique en partie par le meilleur rendement bioénergétique qu'offrent les glucides et parce que ces derniers parviennent à régénérer les intermédiaires du cycle de Krebs pendant l'exercice, alors que les lipides ne peuvent le faire.

Sachant que les limites à l'oxydation des glucides exogènes sont l'entrée dans la cellule et son utilisation, le but de l'étude était de favoriser l'oxydation des glucides en forçant son entrée dans la cellule par une dose de glucose pré exercice qui augmenterait l'insulinémie.

## CHAPITRE II

### REVUE DE LITTÉRATURE

#### **Glucides ou lipides, quel substrat favoriser?**

Lors d'une activité physique d'intensité moyenne à élevée et prolongée (plus de 60% du  $\dot{V}O_2$  max et d'une durée de plus de quatre-vingt-dix minutes), les glucides fournissent majoritairement, mais non exclusivement, l'énergie requise à l'activité. Dans le but d'améliorer la performance, deux possibilités s'offrent à nous (tout en demeurant dans les limites de la légalité!): soit de potentialiser la contribution des glucides, soit de potentialiser la contribution des lipides.

Glucides ou lipides, quel sera le substrat qui permettra une performance optimale? Pour les raisons qui suivent, les auteurs ont choisi de favoriser l'oxydation des glucides pour les activités d'intensité moyenne à élevée. Voici donc quelques unes de ces raisons. D'une part, le glucose a un meilleur rendement bioénergétique (65%) que les lipides (acide palmitique : 62%) tel que rapporté par Leverve, Fontaine et Péronnet (1996). Il faut donc plus d'oxygène aux lipides, pour fournir une même quantité d'ATP que les glucides. Le cycle de Krebs permet la resynthèse de l'ATP. Pour ce faire, chaque molécule d'acétyl CoA qui entre dans le cycle de Krebs doit réagir avec les intermédiaires du cycle de Krebs pour produire une molécule d'ATP, deux molécules de dioxyde de carbone et quatre paires d'atomes d'hydrogène, ces derniers produisant de l'ATP via la chaîne de transport d'électrons. Sahlin, Katz et Broberg (1990) ont mesuré

une diminution des intermédiaires du cycle de Krebs (ICK) au cours d'un exercice prolongé. Cette diminution des ICK a pour conséquence une augmentation du ratio ADP/ATP et entraîne la formation d'AMP, puis d'IMP et enfin de  $\text{NH}_3$ . L'accumulation de  $\text{NH}_3$  et d'IMP diminue le potentiel de phosphate dans la cellule qui en bout de ligne pourrait être associé à la fatigue musculaire. Spencer, Yan et Katz (1991) expliquent dans leurs travaux qu'une augmentation de la contribution des glucides totaux à la fourniture d'énergie peut retarder la fatigue pour un exercice intense et prolongé en maintenant le niveau des intermédiaires du cycle de Krebs.

Les glucides sont donc plus efficaces que les lipides pour fournir l'énergie requise à l'exercice intense. Par contre, les réserves de glucides endogènes, habituellement rencontrées chez les sujets sains, sont nettement insuffisantes pour soutenir un exercice intense et prolongé.

### **Disponibilité des glucides**

Puisque les glucides semblent être le substrat à favoriser, comment peut-on augmenter leur disponibilité? Afin d'améliorer les performances à l'exercice, les régimes de surcompensation glucidique qui augmentent les réserves de glucides dans l'organisme avant un exercice ont été essayés. Ces derniers ont permis d'augmenter les réserves de glycogène et dans certains cas d'en améliorer la performance (Williams, Brewer et Walker, 1992). Par contre, plusieurs études comme celle de Bosch, Dennis et Noakes (1994) ont démontré que lors d'activités physiques intenses et prolongées, où les

réerves de glycogène étaient remplies au maximum, le quotient respiratoire ne pouvait s'empêcher de chuter à la fin de l'épreuve, démontrant que les glucides ne parviennent pas à suffire à la demande. Puisque les réserves de glycogène sont en quantité limitée, l'approvisionnement exogène de glucides s'est avéré être une façon d'augmenter leur disponibilité. Il a en effet été démontré que l'ingestion de glucides avant ou au cours de l'exercice permet d'augmenter ou de maintenir une oxydation importante des glucides tout au long de l'exercice. L'ingestion des glucides exogènes contribuaient entre 12 et 24% à la fourniture de l'énergie totale (Pour revue voir : Péronnet, Adopo et Massicotte, 1992 ; Hawley, Dennis et Noakes, 1992 )

### **Glucides exogènes et performance**

Les études des dernières années ayant évalué l'impact d'une ou de plusieurs collations glucidiques pré et/ou per exercice sur la performance, sont résumées au tableau 1. Les collations ont été servies sous forme de repas glucidique, de nourriture solide ou de glucides en solution. Pour déterminer l'efficacité des collations glucidiques dans ces différentes études, la performance obtenue avec les collations glucidiques a été comparée à la performance obtenue avec l'ingestion d'un placebo.

Les études répertoriées au tableau 1 (Anantaraman, Carmines, Gaesser, et Weltman, 1995; Below, Mora-Rodriguez, Gonzalez-Alonso et Coyle, 1995; Chryssanthopoulos, Williams, Wilson, Asher et Hearne, 1994; Derman, Hawley, Noakes, et Dennis, 1996; El-Sayed, Rattu et Roberts, 1995; Febbraio et Stewart, 1996; Goodpaster, Costill, Fink,



Trappe, Jozsi, Starling et Trappe, 1996; Jenkins, Hutchins et Spillman, 1994; Jeukendrup, Brouns et Wagenmakers, 1997; Kang, Robertson, Denys, DaSilva, Visich, Suminski, Utter, Goss et Metz, 1995; Kang, Robertson, Goss, DaSilva, Visich, Suminski et Utter 1996; MacLaren, Reilly, Campbell. et Frayn, 1994; Madsen, MacLean, Kiens et Christensen, 1996; Millard-Stafford, Rosskopf, Snow. et Hinson, 1997; Nicholas, Williams, Lakomy, Phillips et Nowitz., 1995; Paul, Rukusek, Dykstra, Boileau et Layman, 1996; Peters, Akkermans, Bol. et Mosterd, 1995; Swensen, Crater, Basset et Howley, 1994; Thomas, Brotherhood et Miller, 1994; Tsintzas, Williams, Boobis et Greenhaff., 1996; Tsintzas, Williams, Singh, Wilson et Burrin, 1995; Van Zyl, Lambert, Hawley, Noakes et Dennis, 1996; Ventura, Estruch, Rodas et Segura, 1994) ont évalué la performance selon quatre critères : 1) les auteurs ont comparé la durée pendant laquelle une collation permettait de maintenir l'activité à une intensité donnée (Kang et al., 1996; Kang et al., 1995; Mac Laren et al., 1996; Nicholas et al., 1995; Peters et al., 1995; Tsintzas et al., 1996; Ventura et al., 1994); 2) d'autres auteurs ont comparé la durée nécessaire pour accomplir un travail équivalent lorsqu'un placebo ou des glucides sont ingérés (Below et al., 1995; Jeukendrup et al., 1997; Paul et al., 1996; Tsintzas et al., 1995); 3) l'ingestion d'un placebo et de glucides a été comparée suivant le travail accompli pour une même période de temps (El Sayed et al., 1995; Febbraio et al., 1996; Goodpaster et al., 1996; Jenkins et al., 1994); 4) les groupes d' Anantraman et al. (1995) et de Below et al. (1995) quant à eux ont mesuré la puissance maximale maintenue pendant l'exercice. La plupart des études mentionnées précédemment ont

obtenu une amélioration significative de la performance (valeurs variant de 0,08% à 196,3%), avec l'ingestion de glucides (sous différentes formes et différentes concentrations) par rapport à l'ingestion de placebo.

Indépendamment des différentes expressions de la performance, certaines n'ont pas obtenu d'augmentation significative de la performance (Febbraio et al., 1996; Jenkins et al., 1994; Paul et al., 1996). Toutes ces études ont comparé la performance suivant l'ingestion d'un placebo avec celles qui suivaient l'ingestion de glucides lorsqu'ingérés entre 45 et 120 minutes précédant l'exercice. Pour ces trois études, l'ingestion pré exercice n'a pas été suivie par l'ingestion de collation per exercice.

Par contre, deux groupes de chercheurs ont comparé les performances suivant l'ingestion de placebo ou de glucides lorsqu'ingérés 30 minutes avant le début de l'exercice, alors qu'aucune collation n'était ingérée pendant l'exercice (Goodpaster et al., 1996; Ventura et al., 1994). Les deux groupes ont remarqué une augmentation significative de la performance avec l'ingestion de glucides. Goodpaster et al. (1996) ont en effet remarqué une augmentation du travail ( $p < 0,05$ ) sur une période de 30 minutes (précédé par 90 minutes à 66 % du  $\dot{V}O_2$  max), lorsque 75 g de glucose ou 75 g d'amidon ont été ingérés trente minutes avant le début de l'exercice, en comparaison avec le placebo.

Le second groupe de chercheurs ayant observé une augmentation de la performance, suite à l'ingestion de glucides per exercice, était celui de Ventura et al. (1994). Ces derniers ont donné soit un placebo, soit 75 g de glucose ou soit 75 g de

fructose, trente minutes avant un exercice à 82 % du  $\dot{V}O_2$  max, sur tapis roulant, jusqu'à épuisement. L'ingestion de glucose a permis aux sujets de poursuivre l'exercice pendant 644 s versus 584 s avec l'ingestion du placebo ( $p < 0,05$ )

En résumé, le tableau 1 nous indique qu'en absence de collation per exercice, l'ingestion de glucides plus de trente minutes avant le début de l'exercice, ne semble pas avoir d'effet sur la performance au cours de l'exercice. Par contre, l'ingestion de glucides dans une période de trente minutes précédant un exercice d'intensité moyenne, permet de retarder l'épuisement, et ce, de façon significative.

Tableau 1

Performance moyenne rencontrée dans la littérature des dernières années lorsque les sujets ont  
ingérés des glucides avant et/ou pendant l'exercice

Auteurs	Méthodologie	Glucides	Performance	Change- ment (%)
Ananantraman et al., 1995	3 sujets ♂ et 2 sujets ♀, ergocycle, 60 min puissance maximale (2,8 L/min). Ingestion 2 min avant puis à 15, 30 et 45 min d'exercice.	Placebo + placebo	67% VO <sub>2</sub> max (2,28 L/min), 560 kJ	10,5
		30 g de polymères de glucose avant (10%) + placebo 30 g de polymères de glucose avant (10%) + 90 g (10%) pendant	74% VO <sub>2</sub> max (2,52 L/min), 619 kJ 71% VO <sub>2</sub> max (2,41 L/min), 599 kJ	
Below et al., 1995	8 sujets ♂, ergocycle, 50 min à 80% VO <sub>2</sub> max) (3,5 L/min), suivi de 169 kJ le plus rapidement possible. Ingestion au début (40%), puis à 15 (20%), 25 (20%) et à 34 (20%) min d'exercice.	Électrolytes + 200 ml d'eau	11,34 min	5,5
		79 g CHO + 1330 ml d'eau (Gatorade, 6%) Électrolytes + 1330 ml d'eau 79 g d'un polymère de glucose + 200 ml d'eau (40%)	10,55 min 10,51 min 9,93	

Tableau 1 (suite)

Auteurs	Méthodologie	Glucides	Performance	Change- ment (%)
Chryssanthopoulos et al. 1994	10 sujets ♂, tapis roulant, 30 km le plus rapidement possible (moyenne à 73 % $\dot{V}O_2$ max, 3,08 L/min). Ingestion avant et pendant au départ et aux 5 km.	135 g de glucides 4 heures avant sous forme de repas puis placebo pendant l'exercice.	121,8 min	0,08
		135 g de glucides 4 heures avant sous forme de repas puis, 37g de glucides au départ et 46,5g pendant (6.9% de dextrose, maltodextrin et sirop de glucose)	121,7 min	
Derman et al., 1996	6 sujets ♂, tapis roulant (tr) et ergocycle (er), 80 % $\dot{V}O_2$ max (3,51 L/min) jusqu'à épuisement. Ingestion 250 ml au départ puis 150 ml aux 15 minutes.	Er: 172,5 g de glucose Tr: 127,5 g de glucose	96 min 63 min	34,4
El Sayed et al., 1995	9 sujets ♂, ergocycle, 60 min à 70% $\dot{V}O_2$ max (2,97 L/min), suivi de 10 min à la plus grande vitesse possible. Ingestion 15 min avant et à : 20, 40 et 60 min (3 ml/kg).	PL= 210ml H <sub>2</sub> O av. et 630ml pendant	5,17 km	8,9
		CHO= 16g glucose av. et 47g pendant (7,5%)	5,63 km	

Tableau 1 (suite)

Auteurs	Méthodologie	Glucides	Performance	Change- ment (%)
Febbraio et al., 1996	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 70% $\dot{V}O_2$ max (3,05 L/min) suivi de 15 min à puissance maximale. Ingestion 45 min avant.	Placebo	252 kJ	
		73 g de glucides patate	245 kJ	2,8
		73 g de glucides lentilles	264 kJ	4,8
Goodpaster et al., 1996	10 sujets ♂, ergocycle, 90 min à 66% $\dot{V}O_2$ max (3.15 L/min), suivi de 30 min à puissance maximale. Ingestion 30 min avant l'exercice.	Placebo	403 kJ	
		75 g glucose (18,7%)	434 kJ	7,7
		75 g amylopectine (18,7%)	428 kJ	7,7
		75 g amylose (18,7%)	418 kJ	3,7
Jenkins et al.,	16 sujets ♂, ergocycle, 5 sprints de 60 sec, soit suivant une diète de 3 jours représentant 12 ou 60 % de l'énergie provenant des glucides avec ingestion 1 heure avant l'exercice.	Placebo		
		12%	171,3 kJ	
		60%	173,1 kJ	
		74 g de glucose (15%)		
		12%	148,8 kJ	13,1
		60%	156,3 kJ	9,7

Tableau 1 (suite)

Auteurs	Méthodologie	Glucides	Performance	Change- ment (%)
Jeukendrup et al. 1997	17 sujets ♂, 2 sujets ♀, bicyclette, devaient faire un certain travail d'environ 60 min (74,8 et 76,4 % $\dot{V}O_2$ max). Compléter le plus rapidement possible. Ingestion 8 ml/kg au départ puis 2ml/kg à 25, 50 et 75% de complété.	Placebo 76 g (7,6%)	60,15 min 58,74 min	20 %
Kang et al., 1995	7 sujets ♂, ergocycle, test débute à 70% $\dot{V}O_2$ max (moyenne de 56% $\dot{V}O_2$ max, 2.49 L/min) jusqu'à épuisement précédé d'un régime de surcompensation glucidique. Ingestion aux 20 minutes pendant l'exercice.	Placebo	155 min	22
		135 g glucides (Gatorade, 6%)	189 min	
Kang et al., 1996	7 sujets ♂, ergocycle, test débute à 70% $\dot{V}O_2$ max (moyenne de 56 % $\dot{V}O_2$ max, 2,49 L/min) jusqu'à épuisement. Ingestion aux 20 minutes pendant l'exercice.	Placebo	164 min	14
		135 g glucides (Gatorade, 6%)	187 min	

Tableau 1 (suite)

Auteurs	Méthodologie	Glucides	Performance	Change- ment (%)
MacLaren et al., 1994	5 sujets ♂, ergocycle 90 min à 65% $\dot{V}O_2$ max (2,47 L/min) suivi d'un exercice à 75% $\dot{V}O_2$ max jusqu'à épuisement. Ingestion juste avant l'exercice.	P= 400ml H <sub>2</sub> O	163 s	128,2
		GL= 75g de glucose	372 s	
		GL+G= 75g de glucose + gomme de guar	433 s	
		MD= 75g de maltodextrine	450 s	
		MD+G= 75g de maltodextrine et gomme de guar	483 s	
Madsen et al., 1996	9 sujets ♂, bicyclette 100 km le plus rapidement possible 70 % $\dot{V}O_2$ max (3,5 L/min). Ingestion 600 ml au départ puis 200 ml à 15 minutes, 350 ml à 35 min puis 350 ml aux 20 min.	Placebo	159,8 min	21,62
		Glucose +18 g de BCAA	157,2 min	
		Glucides (5%)	160,1 min	
		87,5 g maltodextrine		
		87,5 g glucose		10,81
Nicholas et al., 1995	9 sujets ♂, course interrompu (5*15 min) suivit d'intervalles de 20 mètres à 55% $\dot{V}O_2$ max (2,5 L/min) suivi de 20 m à 95 % $\dot{V}O_2$ max (4,3 L/min) jusqu'à épuisement. Ingestion 5 ml/kg au départ puis 2 ml/kg aux 15 min.	Placebo	6,7 min (1,3 km)	32,8
		59 g de glucides (6.95)	8,9 min (1,7 km)	



Tableau 1 (suite)

Auteurs	Méthodologie	Glucides	Performance	Change- ment (%)
Paul et al., 1996	6 sujets ♂ et 6 sujets ♀, bicyclette, 90 min à 60% du $\dot{V}O_2$ max (H: 2,7 L/min, F:1,78 L/min) suivi de 6,4 km à puissance maximale. Ingestion 2 heures avant l'exercice.	Placebo	638 sec	
		22,6 g de CHO (blé)	643 sec	0,8
		22,9 g de CHO (maïs)	631 sec	1,1
		17,4 g de CHO (avoine)	632 sec	0,9
Peters et al., 1995	32 sujets ♂, ergocycle et tapis roulant, 180 min à 75 % $\dot{V}O_2$ max, (3.63 L/min), temps de survie moyen et puissance sur un test de 3 min. Ingestion 2 heures avant et pendant l'exercice.	Placebo	120 min	
		96 g de glucides/heure (semi- solide)	126 min	
		108 g de glucides/heure (liquide)	180 min	
Swensen et al., 1994	5 sujets ♂, ergocycle, 70% du $\dot{V}O_2$ max (3,43 L/min) jusqu'à épuisement. Ingestion 2 heures avant l'exercice.	231 g de polymères de glucose	214 min	
		203 g de polymères de glucose + 28 g de lactate	214 min	

Tableau 1 (suite)

Auteurs	Méthodologie	Glucides	Performance	Change- ment (%)
Tsintzas et al., 1996	7 sujets ♂, tapis roulant départ à 70 % $\dot{V}O_2$ max jusqu'à l'épuisement (moyenne de 76% $\dot{V}O_2$ max, 3,49 L/min). Ingestion 8 ml/kg au départ puis 2 ml/kg aux 20 min.	Placebo 73 g de glucides (Gatorade, 5,5%)	104 min 132,4 min	27,3
Van Zyl et al., 1996	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 60 % du $\dot{V}O_2$ max (2,82 L/min) suivi de 40 km à puissance maximale. Ingestion: 400 ml au départ puis 100 ml aux 10 min.	200 g de polymère de glucose (10 %) 200 g de polymère de glucose + 89 g de MCT (10 %) 89 g MCT (4,3 %)	66,8 min 65,1 72,1	2,5 7,9
Ventura et al., 1994	11 sujets ♂ 82% $\dot{V}O_2$ max (3,57 L/min) sur tapis roulant jusqu'à épuisement. Ingestion 30 min avant le début de l'exercice.	Placebo (100 ml) 75 g fructose (75%) 75 g glucose (75%)	584 sec 611 sec 644 sec	4,6 10,3

## **Glucides exogènes et oxydation des glucides et des lipides totaux**

L'augmentation de la performance s'explique-t-elle par une augmentation de la contribution des glucides totaux, c'est-à-dire de source endogène (glycogène hépatique et musculaire) et exogène, à l'exercice et, par le fait même, à une diminution de la contribution des lipides totaux de sources intramusculaire ou extramusculaire? Le tableau 2 (Bosch, Dennis et Noakes, 1994; Bosch, Weltan, Dennis et Noakes, 1996; Bosch, Weltan, Dennis et Noakes, 1996; Burelle, Péronnet, Massicotte, Brisson, et Hillaire-Marcel, 1997; Chryssanthopoulos et al., 1994; Derman et al., 1996; Febbraio et al., 1996; Goodpaster et al., 1996; Hawley, Bosch, Weltan, Dennis et Noakes, 1994; Jeukendrup, Mensink, Saris. et Wagenmakers, 1997; Jeukendrup, Saris, Brouns, Halliday et Wagenmakers, 1996; Jeukendrup, Saris, Schrauwen, Brouns et Wagenmakers, 1995; Jeukendrup, Wagenmakers, Stegen, Gijzen, Brouns et Saris, 1999; Kang et al., 1995; Kang et al., 1996; Leese, Thompson, Scimgeour et Rennie, 1996; Leijssen et Elia, 1996; MacLaren et al., 1994; Marmy-Conus, Fabris, Proietto et Hargreaves, 1996; McConell, Fabris, Proietto et Hargreaves, 1994; Mendenhall, Swanson, Habash. et Coggan, 1994; Millard-Stafford et al., 1997; Paul et al., 1996; Pirnay, Scheen, Gautier, Lacroix Mosora et Lefèbvre, 1995; Rauch, Bosh, Noakes, Dennis et Hawley, 1995; Swensen et al., 1994; Tarnopolsky, Atkinson, Phillips et MacDougall, 1995; Tsintzas et al., 1996; Tsintzas et al., 1995) présente l'oxydation des lipides et des glucides, avec l'ingestion de glucides pré et/ou per exercice.

Tel qu'escompté, quatre (Goodpaster et al., 1996; Kang et al., 1995; Kang et al., 1996; MacLaren et al. 1994) des six études (Goodpaster et al., 1996; Kang et al., 1995; Kang et al., 1996; MacLaren et al., 1994; Tsintzas et al., 1995; Tsintzas et al., 1996) qui ont démontré une amélioration de la performance, ont observé une augmentation significative de l'oxydation des glucides. Dans les études de Goodpaster et al. (1996) et de MacLaren et al. (1994) les auteurs ont donné 75 g de glucides 30 minutes avant le début de l'exercice. Les deux études de Kang et al. (1995;1996) quant à elles, ont fourni des glucides du début de l'exercice jusqu'à la fin. Deux études, celles de Tsintzas et al. (1995;1996), ont cependant remarqué une amélioration de la performance sans changement significatif de l'oxydation des glucides ni des lipides avec ingestion d'environ 70 grammes, du début à la fin d'un exercice de plus de deux heures. À la lumière de ces études, un protocole d'ingestion de glucides comme celui des études de Kang et al. (1995;1996) permet d'oxyder davantage de glucides lorsqu'une grande quantité de glucides exogènes est fournie. Par contre, une quantité plus modeste de glucides exogènes permet de potentialiser la contribution des glucides, si l'ingestion a lieu avant l'exercice (Goodpaster et al., 1996; Maclaren et al., 1994).

Les autres études répertoriées au tableau 2 présentent l'oxydation des glucides et des lipides, en gramme par minute, pour des exercices où le critère de performance n'était pas mesuré, comme par exemple pour un exercice de 120 minutes à 70 % du  $\dot{V}O_2$  max. Pour ce type d'exercice, aucune étude n'a rapporté d'augmentation significative de l'oxydation des glucides. Par contre, l'étude de Bosch et al. (1996) révèle qu'un régime

de surcompensation glucidique suivi par l'ingestion d'un placebo per exercice, permet l'oxydation de plus de glucides par rapport à l'ingestion de glucides per exercice alors que les réserves de glycogène musculaire ont été déplétées avant l'exercice.

En résumé, l'augmentation de l'oxydation des glucides permet d'expliquer l'augmentation de la performance lorsque des glucides sont ingérés, soit avant l'exercice ou pendant l'exercice. En effet, l'ingestion d'une quantité aussi minime que 75 grammes de glucides (pour un exercice de 90 à 120 minutes), 30 minutes avant le début de l'exercice, amène une augmentation de la performance puisque les glucides participent davantage à la fourniture d'énergie. De même, il semble que lorsque les glucides sont ingérés en grande quantité (e.g. 135 g), tout au long de l'exercice, il y a également une augmentation de la performance qui peut probablement être expliquée par l'augmentation de l'oxydation des glucides totaux.

Tableau 2

Oxydation des glucides et des lipides moyenne rapportée par la littérature des dernières années chez les sujets qui ont ingéré  
des glucides avant et/ou pendant l'exercice

Auteurs	Méthodologie	Glucides	Oxydation Glucides (g/min)	Oxydation lipides (g/min)
Bosch et al., 1994	14 sujets ♂, ergocycle, 180 min à 70% $\dot{V}O_2$ max ( 2,62 L/min). Ingestion aux 20 min à partir du début de l'exercice (500 ml/heure).	Placebo (1500 ml) 150 g de glucides (10%)	2,15 2,31	0,39 0,41
Bosch et al., 1996 EJP	17 sujets ♂ déplétés, ergocycle, 180 min à 70% $\dot{V}O_2$ max (2,59 L/min). Ingestion aux 20 minutes à partir du début de l'exercice (500 ml/heure).	Placebo 150 g glucides (10%)	2,28 1,82	0,44 0,50
Bosch et al., 1996b	9 sujets ♂ déplétés (NLC), 7 sujets ♂ avec les réserves de glycogène remplies (CLP) ergocycle, 180 min à 70% $\dot{V}O_2$ max (2,52 L/min). Ingestion aux 20 minutes à partir du début de l'exercice (500ml/heure).	CLP: placebo NLC: 150 g de glucides (10%)	2,16 1,82	0,39 0,50

Tableau 2 (suite)

Auteurs	Méthodologie	Glucides	Oxydation Glucides (g/min)	Oxydation lipides (g/min)
Burelle et al., 1997	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 60% $\dot{V}O_2$ max (2,86 L/min). Ingestion 180, 120 et 90 min avant et aux 20 minutes à partir du début de l'exercice pour la première heure.	100 g glucose avant, placebo pendant	2,24	0,59
		100 g de glucose, 120 g sucrose pendant	2,55	0,47
		100 g de fructose, placebo pendant	2,37	0,56
		100 g de fructose, 120 g sucrose pendant	2,67	0,40
Chryssanthopoulos et al., 1994	10 sujets ♂, tapis roulant, 30 km le plus rapidement possible (moyenne à 73 % $\dot{V}O_2$ max, 3,08 L/min). Ingestion avant et pendant au départ et aux 5 km.	135 g de glucides 4 heures avant sous forme de repas puis placebo pendant l'exercice	2,0	0,67
		135 g de glucides 4 heures avant sous forme de repas. 37g de glucides au départ et 46,5g pendant (6.9% de dextrose, maltodextrine et sirop de glucose)	2,2	0,61
Derman et al., 1996	6 sujets ♂, tapis roulant (tr) et ergocycle (er), 80 % $\dot{V}O_2$ max (3,51 L/min) jusqu'à épuisement. Ingestion 250 ml au départ puis 150 ml aux 15 min.	Er: 172,5 g de glucose	4,32	
		Tr: 127,5 g de glucose	3,91	
Febbraio et al., 1996	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 70% $\dot{V}O_2$ max (3,05 L/min) suivi de 15 min à puissance maximale. Ingestion 45 min avant.	Placebo	2,34	0,66
		73 g de glucides lentille	3,04	0,40
		73 g de glucides patate	3,00	0,39

Tableau 2 (suite)

Auteurs	Méthodologie	Glucides	Oxydation Glucides (g/min)	Oxydation lipides (g/min)
Goodpaster et al., 1996	10 sujets ♂, ergocycle, 90 min à 66% $\dot{V}O_2$ max (3.15 L/min), suivi de 30 min à puissance maximale. Ingestion 30 min avant l'exercice.	Placébo	90: 2,35	0,60
			30: 2,55	0,60
		75 g glucose (18,7%)	90: 2,59	0,47
			30: 3,18	0,44
		75 g amylopectine (18,7%)	90: 2,49	0,55
			30: 2,63	0,63
		75 g amylose(18,7%)	90: 2,71	0,49
			30: 2,78	0,54
Hawley et al., 1994	10 sujets ♂, ergocycle, 125 min à 68,8 % du $\dot{V}O_2$ max (3,53 L/min). Ingestion: 400 ml au départ puis 100 ml aux 10 min.	240 g de $^{14}C$ -glucose (15%)	3,61	0,24
Jeukendrup et al., 1995	8 sujets ♂, ergocycle, 180 min à 57 % du $\dot{V}O_2$ max (2,83 L/min). Ingestion: 4 ml/kg au départ, 2 ml/kg aux 20 min.	CHO: 214 g (15%)	1,9	0,69
		CHO + MCT: 149 g + 29 g	1,92	0,71
		HCHO + MCT: 214 g + 29 g	1,97	0,69
		MCT: 29 g	1,67	0,78
Jeukendrup et al., 1996	9 sujets ♂, ergocycle, 180 min à 57 % du $\dot{V}O_2$ max (2,77 L/min). Ingestion: 4 ml/kg au départ, 2 ml/kg aux 20 min.	CHO: 214 g (15%)	2,19	0,57
		CHO + MCT: 149 g + 29 g	2,02	0,62
		HCHO + MCT: 214 g + 29 g	2,15	0,59



Tableau 2 (suite)

Auteurs	Méthodologie	Glucides	Oxydation Glucides (g/min)	Oxydation lipides (g/min)
Jeukendrup et al., 1997	8 sujets ♂ entraînés, 7 sujets ♂ non entraînés, ergocycle, 120 min à 57-60 % du $\dot{V}O_2$ max (En: 2,75 L/min, N-En 2,19 L/min). Ingestion: 8 ml/kg au départ puis 2 ml/kg aux 15 minutes.	En: 127 g de glucose (8%) N-En: 132 g de glucose (8%) (Oxydation pour la dernière heure)	1,94 1,90	0,62 0,38
Jeukendrup et al., 1999	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 50 % du $\dot{V}O_2$ max (2,73 L/min). Ingestion: 8 ml/kg au départ, 2 ml/kg aux 15 min.	Placebo 70 g de glucose (4%) 350 g de glucose (22%)	1,31 1,55 2,00	0,63 0,54 0,43
Kang et al., 1995	7 sujets ♂, ergocycle, test débute à 70% $\dot{V}O_2$ max (moyenne de 56% $\dot{V}O_2$ max, 2.49 L/min) jusqu'à épuisement précédé d'un régime de surcompensation glucidique. Ingestion aux 20 minutes pendant l'exercice.	Placebo 135 g glucides (Gatorade, 6%)	1,31 1,57	0,7631 0,6468

Tableau 2 (suite)

Auteurs	Méthodologie	Glucides	Oxydation Glucides (g/min)	Oxydation lipides (g/min)
Kang et al., 1996	7 sujets ♂, ergocycle, test débute à 70% $\dot{V}O_2$ max (moyenne de 56 % $\dot{V}O_2$ max, 2,49 L/min) jusqu'à épuisement. Ingestion aux 20 minutes pendant l'exercice.	Placebo 135 g glucides (Gatorade, 6%)	1,31 1,57	
Leese et al., 1996	3 sujets ♂ et 6 sujets ♀, tapis roulant, 60 min à 75 % du $\dot{V}O_2$ max (2,24 L/min). Ingestion: au début de l'exercice.	Eau 61 g sirop de maïs 61 g glucose 61 g sucrose	1,82 2,23 2,12 1,9	0,33 0,27 0,26 0,325
Leijssen et al., 1995	8 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 65 % du Wmax. Ingestion: 8 ml /kg aux départ puis 2 ml/kg aux 15 min.	155 g de glucose (8%)	4.56	7.71 MJ
MacLaren et al., 1994	5 sujets ♂, bicyclette ergométrique, 90 min à 65% $\dot{V}O_2$ max (2,47 L/min) suivi d'un exercice à 75% $\dot{V}O_2$ max jusqu'à épuisement. Ingestion juste avant l'exercice.	P= 400ml H <sub>2</sub> O GL= 75g de glucose MD= 75g de maltodextrine GL+G= 75g de glucose + gomme de guar MD+G= 75g de maltodextrine et gomme de guar	1,035 1.805 1.76 1,86 1,768	

Tableau 2 (suite)

Auteurs	Méthodologie	Glucides	Oxydation Glucides (g/min)	Oxydation lipides (g/min)
Marmy- Conus et al., 1996	6 sujets ♂, ergocycle, 60 min à 71 % du $\dot{V}O_2$ max (3,6 L/min). Ingestion: 400 ml, 30 min avant le début de l'exercice.	Placebo 75 g de glucose (18,75)	3,33 3,45	0,55 0,51
McConnel et al., 1994	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 69% du $\dot{V}O_2$ max (3,47 L/min). Ingestion: 250 ml au début puis 250 ml aux 15 min.	Placebo 200 g glucose (10%)	3.01 3.12	
Mendenhall et al., 1994	7 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 57 % du $\dot{V}O_2$ max (2,0 L/min), avant un programme d'entraînement, 10 jours suivant ce programme et 12 semaines suivant ce programme.	Rien	Av.:1,97 10J.:1,78 12S.: 1,38	0,3 0,32 0,47
Millard- Stafford et al., 1997	12 sujets ♂, tapis roulant 13,4 km à un rythme d'entraînement rapide suivi d'un sprint de 1,6 km à la fin. Ingestion 1 L 60 min avant et à volonté pendant à 7,5 km et 13,4 km.	Placebo Glucides (6%) 60 g avant et 282 ml pendant Glucides (8%) 80 g avant et 298 ml pendant	2,91 0,2 3,06 0,3 3,12 0,2	

Tableau 2 (suite)

Auteurs	Méthodologie	Glucides	Oxydation Glucides (g/min)	Oxydation lipides (g/min)
Paul et al., 1996	6 sujets ♂ et 6 sujets ♀, bicyclette, 90 min à 60% du $\dot{V}O_2$ max (H: 2,7 L/min, F: 1,78 L/min). Ingestion 2 heures avant l'exercice.	-Placebo	9,3	2,43
		-Blé 22.6g	10,94	1,89
		-Maïs 22.9g	10,85	1,84
		-Avoine 17.4g	10,68	1,97
Pirnay et al., 1995.	6 sujets ♂, ergocycle 240 min à 45 % du $\dot{V}O_2$ max (1,8L/min), 180 min à 60 % du $\dot{V}O_2$ max (2,6 L/min), 120 min à 75 % du $\dot{V}O_2$ max (3,0364 L/min). Ingestion: 10 min après le début de l'exercice.	100 g de $^{13}C$ -glucose (25%)		
		Pour la condition 45%:	1,03	0,26
		Pour la condition 60% :	1,48	0,33
		Pour la condition 75% :	2,9	0,24
Rauch et al., 1995	12 sujets ♂, ergocycle, 180 min à 55 % (2,43 L/min) $\dot{V}O_2$ max. Ingestion 200 ml aux 20 minutes à partir du début de l'exercice.	Placebo	2,00	0,45
		180 g polymère de glucose (10%)	2,56	0,39
Swensen et al., 1994	5 sujets ♂, ergocycle, 70% du $\dot{V}O_2$ max (3,43 L/min) jusqu'à épuisement. Ingestion 2 heures avant l'exercice.		180 min:	
		-231 g de polymères de glucose	2,68	0,73
		-203 g de polymères de glucose + 28 g de lactate	2,68	0,67

Tableau 2 (suite)

Auteurs	Méthodologie	Glucides	Oxydation Glucides (g/min)	Oxydation lipides (g/min)
Tarnopolsky et al., 1995	7 sujets ♂ et 8 sujets ♀, 60 min à 75 % du $\dot{V}O_2$ max (H: 3.41 L/min, F 2.26 L/min ), avant (L: 55%) ou après un régime riche (H: 75%) en CHO. Pas d'ingestion .	Hommes:		
		PCHO	3,61	0,16
		RCHO	3,64	0,10
		Femmes		
		PCHO	1,96	0,29
		RCHO	2,16	0,26
Tsintzas et al., 1995	7 sujets ♂, tapis roulant marathon (42,195 km) le plus rapidement possible. (2,47 L/min). Ingestion au début (3 ml/kg) puis aux 5 Km (2 ml/kg).	Placebo	1.2	0,9
		86 g de glucides (6.9%)	1.5	0,79
		69 g de glucides (5.5%)	1.5	0,85
Tsintzas et al., 1996	7 sujets ♂, tapis roulant départ à 70 % $\dot{V}O_2$ max jusqu'à l'épuisement (3,49 L/min). Ingestion 8 ml/kg au départ puis 2 ml/kg aux 20 min.	Placebo	3,2	0,54
		73 g de glucides (Galorade 5,5%)	3,0	0,64

## **Oxydation des glucides exogènes**

À partir des données disponibles dans la littérature et rapportées au tableau 3 (Bosch et al., 1996a; Bosch et al., 1996b; Burelle et al., 1997; Derman et al., 1996; Jeukendrup et al., 1997; Jeukendrup et al., 1996; Jeukendrup et al., 1999; Leese et al., 1996; Leijssen et al., 1996; Pirnay et al., 1995; Van Zyl et al., 1996), il est possible de calculer le pourcentage de la quantité de glucides exogènes ingérés qui est oxydée. De ces calculs, une tendance se dessine, à l'exception de l'étude de Pirnay et al. (1995), le pourcentage de la quantité de glucides ingérés qui est oxydée se situe en moyenne sous les 60%. Donc, d'un point de vue pratique, seulement 50% de ce qui est ingéré est oxydé. Puisque les glucides ont un meilleur rendement bioénergétique, qu'une économie des réserves endogènes semble associée à une augmentation de la performance et qu'un pourcentage assez faible de ce qui est ingéré est oxydé lors d'un exercice de moins de trois heures, comment favoriser l'oxydation optimale des glucides exogènes? Peut-on identifier des limites à l'oxydation des glucides exogènes et quels sont les facteurs susceptibles d'augmenter l'oxydation des glucides exogènes?

Les paramètres qui influencent l'oxydation des glucides exogènes sont les suivants : le niveau d'entraînement, le type et la quantité de glucides ingérés, le moment de l'ingestion, la durée de l'effort, l'intensité et le type d'activité, ainsi que le moment et la composition du dernier repas.

Il ressort cependant que les deux paramètres les plus importants sont : l'intensité de l'exercice (Pirnay et al., 1995) et la quantité de glucides ingérés (Adopo et al., 1994;

Jeukendrup, Wagenmakers, Stegen, Gijsen, Brouns et Saris, 1999; Wagenmakers, Brouns, Saris et Halliday, 1993).

Plus la quantité de glucides ingérés est importante, plus la quantité de glucides exogènes oxydés sera importante. Par contre, l'ingestion d'une quantité importante de glucides exogènes avant et/ou pendant l'exercice pose-t-elle un problème de vidange gastrique et/ou d'absorption intestinale?

### **Absorption et vidange gastrique des glucides exogènes**

Les études de Duchman, Bleiler et Schedl (1990); Mitchell et Voss (1991) et Ryan, Carter et Gisolfi (1989) tel que rapportées par Gisolfi et al., (1996) indiquent qu'une quantité de 50 à 70 g de glucides ingérés dans un litre d'eau (5 à 7 % de concentration) en une heure peut être vidangée par l'estomac lors d'un exercice réalisé entre 60 et 70 % du  $\dot{V}O_2$  max. Gisolfi et al. (1996) nous font remarquer que puisque la quantité de glucides exogènes oxydés est nettement inférieure (20 à 37 grammes par heure selon le tableau 3) à celle qui est fournie par l'estomac, la vidange gastrique ne semble pas limiter l'oxydation des glucides exogènes.

Dans le but de favoriser une vidange gastrique optimale pendant l'exercice, il a été démontré qu'il est préférable de maintenir un volume gastrique le plus élevé possible (Gisolfi, 1996) de diviser en plusieurs petites portions la solution de glucides a ingérés et de la prendre régulièrement tout au long de l'activité (Noakes, Rehrer et Maughan, 1991).

Wagenmakers, Brouns, Saris et Halliday (1993) rapportent une oxydation maximale de 1 g/min de glucides exogènes au cours de l'exercice. La vidange gastrique n'étant pas l'étape limitante à l'oxydation des glucides, que se passe-t-il dans l'intestin, les glucides sont-ils suffisamment absorbés? Selon Bosch et al. (1994), uniquement 50% de ce qui est absorbé est oxydé, l'absorption par l'intestin ne limiterait donc pas l'oxydation exogène de glucides. Dans l'étude de Jeukendrup et al. (1999), du deutérium a été infusé de façon à pouvoir calculer le taux d'apparition du glucose dans le sang reflétant ainsi la vidange gastrique et l'absorption par l'intestin. Ils obtiennent pour une charge de glucose de 350 grammes un taux d'apparition de 0,96 à 1,04 g/min pour la deuxième heure d'exercice, alors que le taux d'oxydation obtenue pour cette période se situait entre 0,76 et 0,94 g/min. Ces résultats indiquent que pour une quantité très importante de glucides, ni la vidange gastrique, ni l'absorption par l'intestin ne limitent l'oxydation exogène. Massicotte, , Péronnet, Tremblay et Hillaire-Marcel (1996) ont utilisé une méthode indirecte pour vérifier si l'absorption par l'intestin ou la vidange gastrique limitait l'oxydation des glucides exogènes. En utilisant du NaCl qui favorise l'absorption intestinale, les auteurs ont voulu vérifier si l'oxydation du glucose exogène serait supérieure avec l'ingestion de ce produit. Si tel avait été le cas, la mauvaise absorption intestinale aurait pu expliquer un faible taux d'oxydation de glucides exogènes retrouvé dans la littérature. De la même façon, l'ajout de métoclopramide favorise la vidange gastrique. L'ingestion de NaCl et de métoclopramide n'ont pas eu d'effet sur la quantité de glucose oxydé.



### **Efficacité des différents types de glucides exogènes**

Nous savons actuellement que les glucides ne se comportent pas tous de la même façon à l'exercice, tant au niveau de l'absorption que de l'oxydation. Hawley, Dennis et Noakes (1992) ont rapporté une baisse de l'absorption du fructose par l'intestin à l'exercice. Cette dernière, explique en partie les causes d'une oxydation moindre du fructose lorsque ingéré à l'exercice (Adopo, Péronnet, Massicotte, Brisson et Hillaire-Marcel, 1994; Massicotte, Péronnet, Brisson, Bakkouch, et Hillaire-Marcel, 1989). Ventura et al. (1994) nous confirment que ce substrat ne permet pas de différer l'épuisement, lorsqu'il est ingéré 30 minutes avant le début de l'exercice. De plus, l'ingestion de fructose est souvent associé à des problèmes gastro-intestinaux, ce qui devient très limitant en cours d'activité physique. Par contre, les études qui ont comparé le glucose, le polymère de glucose, le sucrose ou le maltose, ne rapportent pas de différence significative quant à l'oxydation de ces différents glucides (Massicotte, Péronnet, Brisson, Bakkouch et Hillaire-Marcel, 1989; Hawley, Dennis, Nowitz, Brouns et Noakes, 1992).

Weltan, Bosch, Dennis et Noakes (1998) ont infusé du glucose pour maintenir la glycémie à environ 9 mmol/L chez des sujets ayant les réserves de glycogène normales ou basses. Ils ont obtenu, pour un exercice de 145 minutes à 70% du  $\dot{V}O_2$  max une oxydation de glucides inférieure à ce qui avait été infusé. Il semble donc, que ce soit plutôt l'entrée dans la cellule et son utilisation par celle-ci qui limitent la quantité de

glucides exogènes oxydés. L'entrée du glucose dans la cellule musculaire est favorisée par la contraction musculaire (Goodyear, King, Hirhman, Thompson, Horton et Horton, 1990) et l'insuline (Taha et Klip, 1999).

À la lumière des articles présentés, il est clair que l'ingestion de glucides exogènes ne comble pas toutes les attentes que nous pouvons théoriquement espérer. Malgré l'apport de glucides exogènes, une quantité moins importante de glucides est oxydée en fin de parcours, ce qui ne favorise pas l'atteinte d'une performance optimale, et les réserves de glycogène hépatique et musculaire continuent d'être utilisées pour fournir du glucose aux muscles.

Tableau 3

Oxydation moyenne des glucides exogènes (en grammes), pourcentage de la quantité de glucides ingérés qui est oxydé et contribution de ces glucides à la fourniture d'énergie tel que rapporté par la littérature des dernières années

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés (concentration)	Quantité oxydée en grammes (taux d'oxydation en %)	Énergie %
Bosch et al., 1996a	8 sujets ♂, ergocycle, 180 min à 70 % du $\dot{V}O_2$ max (2,65 L/min). Ingestion: 170 ml au départ puis 170 ml aux 20 min.	150 g de PG (10%)	68,2 (45%) ou 89 (59%)	12,1
Bosch et al., 1996b	8 sujets ♂, ergocycle, 180 min à 70 % du $\dot{V}O_2$ max (2,6 L/min). Ingestion: 170 ml au départ puis 170 ml aux 20 min.	150 g de PG (10%)	89 (59%)	14,7
Burelle et al., 1997	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 60% $\dot{V}O_2$ max (2,86 L/min). Ingestion 180, 120 et 90 min avant et aux 20 minutes à partir du début de l'exercice pour la première heure.	100 g de glucose, placebo pendant	48,1 (48,1)	10,9
		100 g de glucose, 120 g sucrose pendant	50,2 (50,2)	11,3
		100 g de fructose, placebo pendant	44 (44)	10,0
		100 g de fructose, 120 g sucrose pendant	42 (42)	9,5

Tableau 3 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés (concentration)	Quantité oxydée en grammes (taux d'oxydation en %)	Énergie %
Derman et al., 1995	6 sujets ♂, tapis roulant (tr) et ergocycle (er), 80 % du $\dot{V}O_2$ max (3,51 L/min) jusqu'à épuisement. Ingestion: 250 ml au départ puis 150 ml aux 15 min.	er: 172,5 g glucose tr: 127,5 g glucose	33,5 (19%) 14,5 (11%)	7,7 5,1
Jeukendrup et al., 1996	9 sujets ♂, ergocycle, 180 min à 57 % du $\dot{V}O_2$ max (2,77 L/min). Ingestion: 4 ml/kg au départ puis 2 ml/kg aux 20 min.	214 g de PG (15%) 149 g de PG + 29 g MCT (10%) 214 g de PG + 29 g de MCT (15%)	110,1 (51%) 87,6 (59%) 97,5 (46%)	17,1 13,6 15,1
Jeukendrup et al., 1997	8 sujets ♂ entraînés, 7 sujets ♂ non entraînés, ergocycle, 120 min à 57-60 % du $\dot{V}O_2$ max (En: 2,75 L/min, N-En 2,19 L/min). Ingestion: 8 ml/kg au départ puis 2 ml/kg aux 15 minutes.	En: 127 g de glucose (8%) N-En: 132 g de glucose (8%)	77,65 (61%) 72,80 (55%)	18,2 21,4
Jeukendrup et al., 1999	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 50 % du $\dot{V}O_2$ max (2,73 L/min). Ingestion: 8 ml/kg au départ, 2 ml/kg aux 15 min.	70 g de glucose (4%) 350 g de glucose (22%)	17 g 20 g (pour la deuxième heure)	

Tableau 3 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés (concentration)	Quantité oxydée en grammes (taux d'oxydation en %)	Énergie %
Leese et al., 1996	3 sujets ♂ et 6 sujets ♀, tapis roulant, 60 min à 75 % du $\dot{V}O_2$ max (2,24 L/min). Ingestion: au début de l'exercice.	61 g glucose	23,0 (38%)	13,2
		61 g sirop de maïs	23,9 (39%)	13,8
		61 g sucrose	27,5 (45%)	15,8
		(18,5%)		
Leijssen et al., 1995	8 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 65 % du Wmax. Ingestion: 8 ml/kg aux départ puis 2 ml/kg aux 15 min.	155 g de glucose (8%)	71,3 (46%)	
Pirnay et al., 1995	6 sujets ♂, tapis roulant, 240 min à 45 % du $\dot{V}O_2$ max (1,82 L/min) ou 180 min à 60 % du $\dot{V}O_2$ max (2,58 L/min) ou 120 min à 75% $\dot{V}O_2$ max (3,04 L/min). Ingestion 10 minutes après le début de l'exercice.	100 g glucose (25%) :		
		pour la cond. 45%	89,7 (89,7%)	15,9
		pour la cond. 60%	87,3 (87,3%)	14,5
		pour la cond. 75%	50,9 (50,9%)	10,8
Van Zyl et al., 1996	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 60 % du $\dot{V}O_2$ max (2,82 L/min) suivi de 40 km à puissance maximale. Ingestion: 400 ml au départ puis 100 ml aux 10 min.	200 g de polymère de glucose (10 %)	60,1 (30 %)	13,74
		200 g de polymère de glucose + 89 g de MCT (10 %)	82,0 (41 %)	18,7

### Glucides exogènes et glycémie

À partir du lit splanchnique, c'est via la circulation sanguine que le glucose se rend à la cellule musculaire où il est utilisé. Plus la concentration de glucose plasmatique est élevée ou plus la quantité de glucose est disponible, plus il est facile au glucose de pénétrer dans la cellule musculaire (Foss, Paula, Paccola, Gouveia et Piccinato, 1992; Hawley Bosch, Weltan, Dennis et Noakes, 1994.b). En infusant des glucides à leurs sujets, Hawley et al. (1994.b) ont maintenu une normoglycémie dans un cas et une hyperglycémie dans l'autre cas. Ils ont constaté qu'une glycémie plus élevée permettait à une plus grande quantité de glucides exogènes d'être oxydés. Ces observations ont été également rapportées par Weltan et al. (1998). Selon ce principe, les chercheurs devraient tenter de maintenir la glycémie à des valeurs près de 9 mmol/L. Dans les faits, il devient presque impossible, pour un sujet sain, de maintenir une glycémie de 9,7 mmol/L (maintenue par infusion intra-veineuse dans l'étude de Hawley et al., 1994.b) pendant deux heures d'exercice. D'autre part, une glycémie élevée favorise la déshydratation. L'équipe de Jeukendrup et al. (1999) a en effet fourni une dose de 350 grammes de glucose et la glycémie maximale qui a été observée était de 6 mmol/L. Le tableau 4, présente les études des dernières années, dans lesquelles une solution de glucides a été ingérée et avec mesure de la glycémie, (Anantaraman et al., 1995; Below et al., 1995; Bosch et al., 1994; Bosch et al., 1996; Bosch et al., 1996; Burelle et al., 1997; Chrysanthopoulos et al., 1994; Derman et al., 1996; El-Sayed et al., 1995; Febbraio et al., 1996; Goodpaster et al., 1996; Hawley et al., 1994; Hofman et al.,

1995 ; Jenkins et al., 1994; Jeukendrup et al., 1997; Jeukendrup et al., 1996; Jeukendrup et al., 1999; Kang et al., 1995; Kang et al., 1996; Leijssen et al., 1996; MacLaren et al., 1994; Madsen et al., 1996; Marmy Conus et al., 1996; McConell et al., 1994; Millard-Stafford et al., 1997; Nicholas et al., 1995; Paul et al., 1996; Peters et al., 1995; Rauch et al., 1995; Seifert, Paul, Eddy et Murray, 1994; Swensen et al., 1994; Tarnopolsky et al., 1995; Thomas et al., 1994; Tsintzas et al., 1996; Van Zyl et al., 1996; Ventura et al., 1994). Ce tableau confirme qu'il est très difficile d'élever la glycémie à plus de 7 mmol/L et surtout de la maintenir à cette valeur tout au long de l'exercice. On ne peut donc se fier aux seuls effets du gradient de concentration afin de transporter plus de glucose dans la cellule musculaire.

À la suite de l'ingestion de glucides pré exercice, la glycémie au début de l'exercice varie en fonction du moment séparant l'ingestion du début de l'exercice, de la quantité de glucides ingérés ainsi que du type de glucides ingérés. Au tableau 4, onze études ont rapporté les valeurs de glycémie au repos (Burelle et al., 1997; El-Sayed et al., 1995; Febbraio et al., 1996; Goodpaster et al., 1996; Hofman et al., 1995 ; Jenkins et al., 1994; Marmy Conus et al., 1996; Paul et al., 1996; Seifert et al., 1994; Thomas et al., 1994; Ventura et al., 1994) et au début de l'exercice, avec ingestion de glucides de 15 minutes à 4 heures avant le début de l'exercice. Afin de comparer les différentes études disponibles, nous avons rapporté les valeurs présentées en pourcentage par rapport au repos, lorsque des valeurs étaient disponibles, ou au temps 0. Par exemple, une glycémie de 10 mmol/L à 120 minutes en comparaison à une glycémie de 5,4 mmol/L

au repos présente une augmentation de 185% (+185%) de la glycémie. L'ingestion de 16 et 22 grammes de glucides de 15 à 20 minutes avant le début de l'exercice a haussé la glycémie de 26 et 28 % (El-Sayed et al., 1995; Seifert et al., 1994, respectivement). Une dose de 75 g de glucose ingérée 30 minutes avant le début de l'exercice a entraîné une augmentation de la glycémie de 35 à 44 %, telle qu'observée dans ces trois études (Ventura et al., 1994; Marmy Conus et al., 1996; Goodpaster et al., 1996). Lorsque ingéré 30 minutes avant le début de l'exercice, le fructose (Ventura et al., 1994) et deux sortes de farine (Goodpaster et al., 1996) ont moins influencé la glycémie que le glucose (+15, + 18 et + 27 %, respectivement). Au delà de 45 minutes avant le début de l'exercice, l'ingestion de glucides a eu moins d'effets sur la glycémie que les ingestions plus rapprochées (de -11 à + 19 %), sauf dans le cas où l'ingestion a été précédée par un régime riche en glucides. Dans ce cas (Jenkins et al., 1994), l'ingestion de 74 grammes de glucides une heure avant, entraîne une augmentation de la glycémie de 51%.

En général, les études répertoriées au tableau 4, dans lesquelles des glucides ont été ingérés pendant l'exercice et comparées avec l'ingestion de placebo, ont obtenu à la fin de l'exercice par rapport au repos ou au début de l'exercice une augmentation plus élevée ou une diminution moindre de la glycémie que le placebo. Seule l'étude de Tsintzas et al. (1996) n'a pas été dans ce sens. Pour cette étude, une diminution plus importante de la glycémie est rencontrée à la fin de l'exercice lorsque 73 grammes de glucides sont ingérés tout au long de l'exercice plutôt que dans la condition placebo (-11 % vs -3,9 % respectivement). Cette diminution plus marquée lors du protocole avec



ingestion de glucides s'explique probablement par le fait que les sujets ont maintenu l'activité 28 minutes plus longtemps que lors de l'ingestion de placebo. En effet, si on compare la glycémie à la fin de l'exercice pour la situation contrôle, on remarque que la glycémie est moins élevée qu'au même moment lors du protocole avec ingestion de glucides.

Il ressort donc de l'étude de ces articles que la glycémie augmente davantage en début d'exercice plus la quantité de glucides ingérée est importante et lorsque l'ingestion pré-exercice se fait dans les trente minutes avant le début de l'exercice.

Tableau 4

Moyennes de la glycémie (mmol/L) observée au repos, au début de l'exercice, au pic pendant l'exercice et à la fin de l'exercice telles que rapporté par la littérature des dernières années lorsque les sujets ont ingéré des glucides avant et/ou pendant l'exercice

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Glycémie au repos	Glycémie au début de l'exercice	Glycémie maximale	Glycémie à la fin de l'exercice
Ananatrman et al., 1995	3 sujets ♂ et 2 sujets ♀, ergocycle, 60 min puissance maximale (2,8 L/min). Ingestion 2 min avant puis à 15, 30 et 45 min d'exercice.	Placebo + placebo		4.5		3.85 (-14,5)
				4.86		4.38 (-9,9)
		30 g de polymères de glucose avant (10%) + placebo 30 g de polymères avant (10%) + 90 g (10%) pendant		5.14		6.62 (+28,8)
Below et al., 1995	8 sujets ♂, ergocycle, 50 min à 80% $\dot{V}O_2$ max (3,5 L/min), suivi de 169 kJ le plus rapidement possible. Ingestion au début (40%), puis à 15 (20%), 25 (20%) et à 34 (20%) min d'exercice.	Électrolytes + 200 ml d'eau	CHO	4,9		6,4 (+30,6)
		79 g CHO + 1330 ml d'eau (Gatorade, 6%)	NCHO	4,9		6,5 (+32,7)
		Électrolytes + 1330 ml d'eau	SFR	4,9		6,2 (+27,1)
		79 g d'un polymère de glucose + 200 ml d'eau (40%)	LFR	4,9		6,3 (+28,6)
						6,7 (+36,7)
						6,32 (+29)
						6,0 (+22,4)
						6,31 (+28,8)

Tableau 4 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Glycémie au repos	Glycémie au début de l'exercice	Glycémie maximale	Glycémie à la fin de l'exercice
Bosch et al., 1994	14 sujets ♂, ergocycle, 180 min à 70% $\dot{V}O_2$ max (2,62 L/min). Ingestion aux 20 minutes à partir du début de l'exercice (500ml/heure).	Placebo (1500 ml) Solution de glucides (10%)		4,79 4,5	5,125 (+7) 5,125 (+13,9)	4,5 (-6,1) 5,1 (+12,4)
Bosch et al., 1996 EJP	17 sujets ♂ déplétés, ergocycle, 180 min à 70% $\dot{V}O_2$ max (2,59 L/min). Ingestion aux 20 minutes à partir du début de l'exercice (500ml/heure).	Placebo 150 g glucides (10%)		4,78 4,3	4,96 (+3,8) 5,19 (+20,7)	3,16 (-33,9) 4,4 (+2,3)
Bosch et al., 1996 metabolism	9 sujets ♂ déplétés (NLC), 7 sujets masculins avec les réserves de glycogène remplies (CLP), ergocycle, 180 min à 70% $\dot{V}O_2$ max (2,52 L/min). Ingestion aux 20 minutes à partir du début de l'exercice (500ml/heure).	NLC: 150 g de glucides (10%) CLP: placebo		4,4 4,84	5,1 (+15,9) 5,4 (+11,6)	4,46 (+1,4) 5,56 (+14,9)

Tableau 4 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Glycémie au repos	Glycémie au début de l'exercice	Glycémie maximale	Glycémie à la fin de l'exercice
Burelle et al., 1997	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 60% $\dot{V}O_2$ max (2,86 L/min). Ingestion 180, 120 et 90 min avant et aux 20 minutes à partir du début de l'exercice pour la première heure.	100 g de glucose, placebo pendant	4,53	3,71 (-18)	4,04 (-10,9)	4,16 (-8,2)
		100 g de glucose, 120 g sucrose pendant	4,53	4,2 (-7,3)	5,27 (+16,3)	4 (-11,8)
		100 g de fructose, placebo pendant	4,82	4,2 (-12,9)	5,14 (+6,6)	4,53 (-6)
		100 g de fructose, 120 g sucrose pendant	4,65	4,2 (-9,7)	5,43 (+16,8)	4,65
Chryssanthopoulos et al. 1994	10 sujets ♂, tapis roulant, 30 km le plus rapidement possible (moyenne à 73 % $\dot{V}O_2$ max 3,08 L/min). Ingestion avant et pendant au départ et aux 5 km.	135 g de glucides 4 heures avant sous forme de repas puis placebo pendant l'exercice.	4,6	4,6		5,33 (+115,9)
		135 g de glucides 4 heures avant sous forme de repas. 37g de glucides au départ et 46,5g pendant (6,9% de dextrose, maltodextrine et sirop de glucose)	4,7	4,8 (+2,3)	6,33 (+34,7)	6,0 (+27,7)

Tableau 4 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Glycémie au repos	Glycémie au début de l'exercice	Glycémie maximale	Glycémie à la fin de l'exercice
Derman et al., 1996	6 sujets ♂, tapis roulant (tr) et ergocycle (er), 80 % $\dot{V}O_2$ max (3,51 L/min) jusqu'à épuisement. Ingestion 250 ml au départ puis 150 ml aux 15 minutes.	Er: 172,5 g de glucose	4.8			5.8 (+20,8)
		Tr: 127,5 g de glucose	4.9			7.0 (+42,9)
El Sayed et al., 1995	9 sujets ♂, ergocycle, 60 min à 70% $\dot{V}O_2$ max (2,97 L/min), suivi de 10 min à la plus grande vitesse possible. Ingestion 15 min avant et à : 20, 40 et 60 min (3 ml/kg).	PL= 210ml H <sub>2</sub> O av. et 630ml pendant	4.32	4.26 (-1,4)	4.40 (+1,9)	4.00 (-4,3)
		CHO= 16g glucose av. et 47g pendant (7,5%)	4.63	5.84 (+26,1)	4.42 (-4,5)	5.53 (+19,4)
Febbraio et al., 1996	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 70% $\dot{V}O_2$ max (3,05 L/min) suivi de 15 min à puissance maximale. Ingestion 45 min avant.	Placebo	4.78	4.72 (-1,3)	5.08 (+6,3)	4.35 (-2,7)
		73 g de glucides patate	4.78	4.25 (-11,1)	5.38 (+12,6)	4.25 (-11,1)
		73 g de glucides lentilles	5.02	4.87 (-3,0)	5.53 (+10,2)	4.54 (-9,6)

Tableau 4 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Glycémie au repos	Glycémie au début de l'exercice	Glycémie maximale	Glycémie à la fin de l'exercice
Goodpaster et al., 1996	10 sujets ♂, ergocycle, 66% $\dot{V}O_2$ max (3.15 L/min), 90min suivi de 30 min à puissance maximale. Ingestion 30 min avant l'exercice.	Placebo	5.38	5.32 (-1,1)		4.6 (-14,5)
		75 g glucose (18,7%)	5.32	7.65 (+43,8)		4.75 (-10,7)
		75 g amylopectine (18,7%)	5.1	6.46 (+26,7)		4.9 (-3,9)
		75 g amylase (18,7%)	5.1	6.03 (+18,2)		4.9 (-3,8)
Hawley et al., 1994	10 sujets ♂, ergocycle, 125 min à 68,8 % du $\dot{V}O_2$ max (3,53 L/min). Ingestion: 400 ml au départ puis 100 ml aux 10 min.	240 g de $^{14}C$ -glucose (15%)		4.6	5.7 (+23,9)	5.2 (+13,0)
Hofman et al., 1995	6 sujets ♂, course de 12 km entre 52 et 59 minutes. Ingestion 2 heures avant.	160 g de CHO	5.33	4.71 (-11,6)		6.48
		69 g de CHO	5.62	4.32 (-23,1)		(+21,6)
		69 g de CHO, 6 g protéines	5.23	3.73 (-28,7)		5.07 (-9,8)
						5.07 (-3,1)
		91 g multibar	5.39	4.32 (-19,9)		5.56 (+3,2)

Tableau 4 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Glycémie au repos	Glycémie au début de l'exercice	Glycémie maximale	Glycémie à la fin de l'exercice
Jenkins et al., 1994	16 sujets ♂, ergocycle, 5 sprints de 60 sec, soit suivant une diète de 3 jours représentant 12 ou 60 % de l'énergie provenant des glucides avec ingestion 1 heure avant l'exercice.	Placebo				
		12%	4,1	6,5 (+58,5)		
		60%	3,9	6,6 (+69,2)		
		74 g de glucose (15%)				
Jeukendrup et al., 1996	9 sujets ♂, ergocycle, 180 min à 57 % du $\dot{V}O_2$ max (2,77 L/min). Ingestion: 4 ml/kg au départ, 2 ml/kg aux 20 min.	12%	5,3	5,9 (+11,3)		
		60%	4,7	7,1 (51,1)		
Jeukendrup et al., 1996		CHO: 214 g (15%)		4.62	5.53 (+19,9)	5.02 (+2,6)
		CHO+MCT: 149 g + 29 g		4.82	5.25 (+8,9)	4.86 (+0,8)
		HCHO+MCT: 214 g + 29 g		4.66	5.65 (+21,2)	5.3 (+13,7)
Jeukendrup et al., 1997	8 sujets ♂ entraînés (En), 7 sujets ♂ non entraînés (N-En), ergocycle, 120 min à 57-60 % du $\dot{V}O_2$ max (En: 2,75 L/min, N-En 2,19 L/min). Ingestion: 8 ml/kg au départ puis 2 ml/kg aux 15 minutes.	En: 127 g de glucose (8%)		4,85		4,44 (-8,5)
		N-En: 132 g de glucose (8%)		4,68		4,44 (-5,1)

Tableau 4 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Glycémie au repos	Glycémie au début de l'exercice	Glycémie maximale	Glycémie à la fin de l'exercice
Jeukendrup et al., 1999	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 50 % du $\dot{V}O_2$ max (2,73 L/min). Ingestion: 8 ml/kg au départ, 2 ml/kg aux 15 min.	Placebo		4,6		4,6
		70 g de glucose (4%)		4,5		4,62 (+2,7)
		350 g de glucose (22%)		4,44	6,0 (+35,1)	5,13 (+15,5)
Kang et al., 1995	7 sujets ♂, ergocycle, test débute à 70% $\dot{V}O_2$ max (moyenne de 56% $\dot{V}O_2$ max, 2.52 L/min) jusqu'à épuisement précédé d'un régime de surcompensation glucidique. Ingestion aux 20 minutes pendant l'exercice.	Placebo		4,9		4,02 (-18,0)
		135 g glucides (Gatorade, 6%)		5,0	5,24 (+4,8)	4,54 (-9,2)
Kang et al., 1996	7 sujets ♂, ergocycle, test débute à 70% $\dot{V}O_2$ max (moyenne de 56 % $\dot{V}O_2$ max, 2,49 L/min) jusqu'à épuisement. Ingestion aux 20 minutes pendant l'exercice.	Placebo		5,0		3,3 (-34)
		135 g glucides (Gatorade, 6%)		4,9	5,3 (+8,2)	4,7 (-4,1)



Tableau 4 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Glycémie au repos	Glycémie au début de l'exercice	Glycémie maximale	Glycémie à la fin de l'exercice
Leijssen et al., 1995	8 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 65 % du Wmax. Ingestion: 8 ml/kg aux départ puis 2 ml/kg aux 15 min.	155 g de glucose (8%)		4.61	5.1 (+10,6)	4.71 (+2,2)
MacLaren et al., 1994	5 sujets ♂, ergocycle, 90 min à 65% $\dot{V}O_2$ max (2,47 L/min), suivi d'un exercice à 75% $\dot{V}O_{2max}$ jusqu'à épuisement. Ingestion juste avant l'exercice.	P= 400ml H <sub>2</sub> O		4.54		3.68 (-18,9)
		GL= 75g de glucose		4.54	5.4 (+18,9)	4.54
		MD= 75g de maltodextrine		4.4	5.8 (+31,8)	4.54 (+3,2)
		GL+G= 75g de glucose + gomme de guar		4.54	6.05 (+33,3)	4.54
		MD+G= 75g de maltodextrine et gomme de guar		4.97	5.2 (+4,6)	4.1 (-17,5)
Madsen et al., 1996	9 sujets ♂, bicyclette 100 km le plus rapidement possible 70 % $\dot{V}O_2$ max (3,5 L/min). Ingestion 600 ml au départ puis 200 ml à 15 minutes, 350 ml à 35 min puis 350 ml aux 20 min.	Placebo	5,05			6,15
		Glucose +18 g de BCAA	5,14			5,74
		Glucides (5%)	4,97			5,09
		87,5 g maltodextrine 87,5 g glucose				

Tableau 4 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Glycémie au repos	Glycémie au début de l'exercice	Glycémie maximale	Glycémie à la fin de l'exercice
Marmy-Conus et al., 1996	6 sujets ♂, ergocycle, 60 min à 71 % du $\dot{V}O_2$ max (3,6 L/min). Ingestion: 400 ml, 30 min avant le début de l'exercice.	Placebo	4.73	4.65 (-1,7)	5.0 (+5,7)	4.65 (-1,7)
		75 g de glucose (18,75)	4.73	6.37 (34,7)	6.37 (34,7)	5.42 (+14,6)
McConnel et al., 1994	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 69% du $\dot{V}O_2$ max (3,47 L/min). Ingestion: 250 ml au début puis 250 ml aux 15 min.	Placebo		4,73	5,21 (+10,1)	4,15 (-12,3)
		200 g glucose (10%)		4,73	6,78 (+43,3)	5,32 (+12,5)
Millard-Stafford et al., 1997	12 sujets ♂, tapis roulant 13,4 km à un rythme d'entraînement rapide suivi d'un sprint de 1,6 km à la fin. Ingestion 1 L 60 min avant et à volonté pendant à 7,5 km et 13,4 km.	Placebo		4,75 3,54	8	7,9 7,9
		Glucides (6%) 60 g avant et 282 ml pendant		3,54		7,8
		Glucides (8%) 80 g avant et 298 ml pendant				

Tableau 4 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Glycémie au repos	Glycémie au début de l'exercice	Glycémie maximale	Glycémie à la fin de l'exercice
Nicholas et al., 1995	9 sujets ♂, course interrompu (5*15 min) suivi d'intervalles de 20 mètres à $\dot{V}O_2$ max (2,5 L/min) suivi de 20 m à 95 % $\dot{V}O_2$ max (4,3 L/min) jusqu'à épuisement. Ingestion 5 ml/kg au départ puis 2 ml/kg aux 15 min.	-Placebo  -59 g de glucides (6.9)		4.02  4.02	5.07 (+26,1)  6.05 (150,5)	4.19 (+4,2) 4.56 (+13,4) 4.39 (+9,2) 5.24 (+30,4)
Paul et al., 1996	6 sujets ♂ et 6 sujets ♀, bicyclette, 90 min à 60% du $\dot{V}O_2$ max (H: 2,7 L/min, F: 1,78 L/min) suivi de 6,4 km à puissance maximale. Ingestion 2 heures avant l'exercice.	Placebo 22,6 g de CHO (blé) 22,9 g de CHO (maïs) 17,4 g de CHO (avoine)	4,41 4,62 4,41 4,35	4,41 4,24 (-8,2) 4,21 (-4,5) 4,06 (-6,7)	5,0 (13,4)	5,84(+32,4) 6,18(+33,8) 6,3(+42,9) 6,08(+39,8)
Peters et al., 1995	32 sujets ♂, ergocycle et tapis roulant, 180 min à 75 % $\dot{V}O_2$ max, (3.63 L/min), temps de survie moyen et puissance sur un test de 3 min. Ingestion 2 heures avant et pendant l'exercice.	Placebo 96 g de glucides/heure (semi-solide) 108 g de glucides/heure (liquide)		4.98 4.96  4.74	5.80 (+16,5) 7.58 (+52,8)  7.75 (+63,5)	4.81 (-3,4) 7.57 (+52,6)  4.81 (+1,5)

Tableau 4 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Glycémie au repos	Glycémie au début de l'exercice	Glycémie maximale	Glycémie à la fin de l'exercice
Peters et al., 1995	32 sujets ♂, ergocycle et tapis roulant, 180 min à 75 % $\dot{V}O_2$ max, (3.63 L/min), temps de survie moyen et puissance sur un test de 3 min. Ingestion 2 heures avant et pendant l'exercice.	Placebo		4.98	5.80 (+16,5)	4.81 (-3,4)
		96 g de glucides/heure (semi-solide)		4.96	7.58 (+52,8)	7.57 (+52,6)
		108 g de glucides/heure (liquide)		4.74	7.75 (+63,5)	4.81 (+1,5)
Rauch et al., 1995	12 sujets ♂, ergocycle, 180 min à 55 % $\dot{V}O_2$ max (2,43 L/min). Ingestion 200 ml aux 20 minutes à partir du début de l'exercice.	Placebo		4,66		4,30 (-7,7)
		180 g polymère de glucose (10%)		4,98	5,81 (+16,7)	5,30 (+6,4)
Seifert et al., 1994	6 sujets ♂, bicyclette, 50 min à 62% du $\dot{V}O_2$ max. Ingestion: 20 min avant pour LCHO, 40 min avant pour HCHO.	LCHO: 22 g (Gatorade, 6%)	5,1	6,54 (+28,2)		5,14 (+0,8)
		HCHO: 72 g (maltodextrine et dextrose, 20%)	5,0	7 (+40)		4,62 (-7,6)

Tableau 4 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Glycémie au repos	Glycémie au début de l'exercice	Glycémie maximale	Glycémie à la fin de l'exercice
Tarnopolsky et al., 1995	7 sujets ♂ et 8 sujets ♀, 60 min à 75 % du $\dot{V}O_2$ max (H: 3.41 L/min, F 2.26 L/min ), avant (L: 55%) ou après un régime riche (H: 75%) en CHO. Pas d'ingestion .	Hommes:				
		LCHO		5.33	5.6 (+5,1)	5.1 (-4,3)
		HCHO		5.02		5.32 (+6,0)
		Femmes				
Thomas et al., 1994	6 sujets ♂ 65-70% $\dot{V}O_2$ max jusqu'à épuisement. Ingestion 60 minutes avant le début.	LCHO	4.6			4.1 (-10,9)
		HCHO	5.02			4.49 (-10,6)
		69 g de CHO (patate)	5.2	6.2 (+19,2)		4.23 (-18,7)
		69 g de CHO(riz)	5.2	6.2 (+19,2)		5.01 (-3,7)
Tsintzas et al., 1996	7 sujets ♂, tapis roulant départ à 70 % $\dot{V}O_2$ max jusqu'à l'épuisement ( 3,49 L/min). Ingestion 8 ml/kg au départ puis 2 ml/kg aux 20 min	69 g de CHO (lentille)	5.2	6.2 (19,2)		5.59 (+7,5)
		69 g de CHO (son)	5.2	4.81 (-7,5)		5.59 (+7,5)
		Placébo		3.63	4.04 (+1,3)	3.49 (-3,9)
		73 g de glucides (Galorade 5,5%)		3.63	5.3 (+46,0)	3.23 (-11,0)
Van Zyl et al., 1996	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 60 % du $\dot{V}O_2$ max (2,82 Lmin) suivit de 40 km à puissance maximale. Ingestion: 400 ml au départ puis 100 ml aux 10 min.	200 g de polymère de glucose (10 %)		3,69		6,40 (+73,4)
		200 g de polymère de glucose + 89 g de MCT (10 %)		2,84	6,96 (+145,1)	6,85 (+141,2)
				2,84		5,48 (+93)

Tableau 4 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Glycémie au repos	Glycémie au début de l'exercice	Glycémie maximale	Glycémie à la fin de l'exercice
Ventura et al., 1994	11 sujets ♂ à 82% $\dot{V}O_2$ max (3,57 L/min) sur tapis roulant jusqu'à épuisement. Ingestion 30 min avant le début de l'exercice.	Placebo (100 ml)	4,49	4,79 (+6,7)		
		75 g fructose (75%)	4,65	5,38 (+15,7)		
		75 g glucose (75%)	4,65	6,69 (+43,9)		

### **Glucides exogènes et insulinémie**

L'insuline est l'hormone qui permet de maintenir une glycémie normale lorsque des glucides sont ingérés. L'insuline permet à la molécule de glucose de pénétrer dans la cellule musculaire en activant les transporteurs de glucose (GLUT-4) (Hayashi, Wojtaszewski et Goodyear, 1997). L'activité physique en elle-même favorise l'entrée du glucose dans la cellule, mais l'étude de Dela, Mikines, Sonne, et Galbo, (1994) est révélateur au sujet du rôle primordial de l'insuline dans cette réaction. Tandis que Lavoie, Ducros, Bourque, Langelier et Chiasson (1997) ont démontré lors d'un exercice de deux heures à 40 % du  $\dot{V}O_2$  max ont démontré que l'insuline n'était pas primordiale pour la captation de glucose mais que l'effet est synergique avec la contraction musculaire.

Par son pouvoir inhibiteur sur la lipolyse (Hawley et al., 1994) et sur la PHG (Marmy-Conus et al., 1996; McConell et al., 1994), une insulinémie élevée favorisera l'oxydation des glucides exogènes en économisant ces le glycogène musculaire et hépatique.

Le tableau 5 indique les valeurs d'insulinémie des sujets ayant participé aux études où une collation glucidique a été servie soit avant, soit pendant l'exercice ou en combinaison (Below et al., 1995; Bosch et al., 1994; Bosch et al., 1996; Burelle, et al., 1997; Chrysanthopoulos et al., 1994; Derman et al., 1996; Febbraio et al., 1996; Goodpaster et al., 1996; Hawley et al., 1994; Hofman et al., 1995; Jeukendrup et al.,

1997; Jeukendrup et al., 1999; Leijssen et al., 1996; MacLaren et al., 1994; Madsen et al., 1996; Marmy Conus et al., 1996; McConell et al., 1994; Millard-Stafford et al., 1997; Nicholas et al., 1995; Paul et al., 1996; Peters et al., 1995; Seifert et al., 1994; Thomas et al., 1994; Tsintzas et al., 1996; Ventura et al., 1994). Contrairement à la glycémie qui n'augmente que peu, l'insulinémie augmente parfois jusqu'à 930 % de sa valeur de base (Seifert et al., 1994). En observant les courbes d'insulinémie dans les différentes études, dans lesquelles les glucides ont été ingérés de 20 à 60 minutes avant le début de l'exercice (Febbraio et al., 1996; Goodpaster et al., 1996; Marmy Conus et al., 1996; Seifert et al., 1994; Thomas et al., 1994; Ventura et al., 1994), nous constatons qu'une augmentation de l'insulinémie suit l'ingestion des glucides (de + 48 % à + 932 %), alors que tel qu'escompté l'ingestion de placebo a peu d'effet sur l'insulinémie. L'augmentation de l'insulinémie est ensuite suivie d'une diminution dès le début de l'exercice qui se traduit la plupart du temps par une insulinémie en fin d'exercice qui est en-dessous des valeurs de base, confirmant ainsi l'effet inhibiteur de l'exercice sur la sécrétion d'insuline. Dans les études ayant donné des glucides au départ de l'exercice et ainsi pendant l'exercice (Hawley et al., 1994; Jeukendrup et al., 1996; Jeukendrup et al., 1997; Leijssen et al., 1996; Tsintzas et al., 1996), l'insulinémie reste plus stable avec des écarts plus faibles (entre + 12 % et 148 %) suite au bolus d'ingestion de départ et une insulinémie en fin d'exercice entre -73 % et + 37 % des valeurs de départ ou de repos.



L'analyse de ces résultats présentés au tableau 5 indique que l'augmentation de l'insulinémie demeure possible avec l'ingestion de glucides pré exercice, en autant que l'ingestion se poursuive à l'exercice l'insulinémie revient rapidement à des valeurs de repos, et même en deçà. Par contre, l'ingestion de glucides pendant l'exercice permet à l'insulinémie de rester à des valeurs de base, et même parfois à des valeurs légèrement plus élevées qu'avant la pratique de l'activité.

Tableau 5

Moyennes d'insulinémie observée au repos, au début de l'exercice, au pic pendant l'exercice et à la fin de l'exercice telles que rapportées par la littérature depuis 1994 lorsque les sujets ont ingéré des glucides avant et/ou pendant l'exercice

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Repos	début	pic	fin
Bosch et al., 1994	14 sujets ♂, bicyclette, 180 min à 70% $\dot{V}O_2$ max (2,62 L/min). Ingestion aux 20 min à partir du début de l'exercice (500 ml/heure).	Placebo (1500 ml)		2,7 $\mu$ U/ml		1,2 (-55,6) $\mu$ U/ml
		150 g de glucides (10%)		5,7 $\mu$ U/ml		4,2 (-26,3) $\mu$ U/ml

Tableau 5 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Repos	début	pic	fin
Bosch et al., 1996b	9 sujets ♂ déplétés (NLC), 7 sujets masculins avec les réserves de glycogène remplies (CLP), ergocycle, 180 min à 70% $\dot{V}O_2$ max (2,52 L/min). Ingestion aux 20 minutes à partir du début de l'exercice (500ml/heure).	NLC: 150 g de glucides (10%) CLP: placebo		4,4 $\mu$ U/ml 2,7 $\mu$ U/ml		3,0 (-31,8) $\mu$ U/ml 1,2 (-55,6) $\mu$ U/ml
Burelle et al., 1997	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 60% $\dot{V}O_2$ max (2,86 L/min). Ingestion 180, 120 et 90 min avant et aux 20 minutes à partir du début de l'exercice pour la première heure.	100 g de glucose, placebo pendant 100 g de glucose, 120 g sucrose pendant 100 g de fructose, placebo pendant 100 g de fructose, 120 g sucrose pendant	4,2 mU/L 4,6 mU/L 4,6 mU/L 4,2 mU/L	7,47 (+77,9) mU/L 8,69 (+88,9) mU/L 6,57 (+42,8) mU/L 5,18 (+23,3) mU/L		3,2 (-23,8) mU/L 3,47 (-24,6) mU/L 2,9 (-37) mU/L 3,47 (-17,4) mU/L

Tableau 5 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Repos	début	pic	fin
Chryssanthopoulos et al. 1994	10 sujets ♂, tapis roulant, 30 km, le plus rapidement possible (moyenne à 73 % $\dot{V}O_2$ max, 3,08 L/min). Ingestion avant et pendant au départ et aux 5 km.	135 g de glucides 4 heures avant sous forme de repas puis placebo pendant l'exercice	7,9 mU/L	8,7 (+10,0) mU/L		4,5 (-43,0) mU/L
		135 g de glucides 4 heures avant sous forme de repas, 37g de glucides au départ et 46,5g pendant (6.9% de dextrose, maltodextrin et syrop de glucose)	7,6 mU/L	6,3 (-17,1 mU/L)		5,2 (-31,6) mU/L
Derman et al., 1996	6 sujets ♂, tapis roulant (tr) et ergocycle (er), 80 % $\dot{V}O_2$ max (3,51 L/min) jusqu'à épuisement. Ingestion 250 ml au départ puis 150 ml aux 15 minutes.	Er: 172,5 g de glucose Tr: 127,5 g de glucose	5,7 mU/L 5,9 mU/L			

Tableau 5 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Repos	début	pic	fin
Febbraio et al., 1996	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 70% $\dot{V}O_2$ max (3,05 L/min) suivi de 15 min à puissance maximale. Ingestion 45 min avant.	Placebo	37 pmol/L	36,36 (-1,7) pmol/L		9,7 (-73,8) pmol/L
		73 g de glucides lentilles	36,36 pmol/L	54,14 (+48,9) pmol/L		16,97 (-53,3) pmol/L
		73 g de glucides patate	36 pmol/L	169,7 (+371,4) pmol/L		24,24 (-32,7) pmol/L
Goodpaster et al., 1996	10 sujets ♂, ergocycle, 90 min 66% $\dot{V}O_2$ max (3.15 L/min), suivi de 30 min à puissance maximale. Ingestion 30 min avant l'exercice.	Placebo	7,92 $\mu$ IU/ml	29,24 (+269,2) $\mu$ IU/ml		2,26 (-71,5) $\mu$ IU/ml
		75 g glucose (18,7%)	11,32 $\mu$ IU/ml	81,13 (+616,7) $\mu$ IU/ml		2,26 (-80,0) $\mu$ IU/ml
		75 g amylopectine (18,7%)	9,43 $\mu$ IU/ml	37,73 (+300,1) $\mu$ IU/ml		2,26 (-76,0) $\mu$ IU/ml
		75 g amylase (18,7%)	5,66 $\mu$ IU/ml	41,13 (+626,9) $\mu$ IU/ml		2,26 (-60,1) $\mu$ IU/ml
Hawley et al., 1994	10 sujets ♂, ergocycle, 125 min à 68,8 % du $\dot{V}O_2$ max (3,53 L/min). Ingestion: 400 ml au départ puis 100 ml aux 10 min.	240 g de 14C-glucose (15%)		7,1 $\mu$ U/L	17,6 (+147,9) $\mu$ U/L	9,7 (+36,6) $\mu$ U/L

Tableau 5 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Repos	début	pic	fin
Hofman et al., 1995	6 sujets ♂, course de 12 km entre 52 et 59 minutes. Ingestion 2 heures avant.	160 g de CHO	6,9 mIU/L	29,26 (+324,1) mIU/L		10 (+44,9) mIU/L
		69 g de CHO	6,9 mIU/L	21,81 (216,1) mIU/L		5.85 (-15,2) mIU/L
		69 g de CHO, 6 g protéines	6,9 mIU/L	9,15 (32,6) mIU/L		5.85 (-15,2) mIU/L
		91 g multibar	6,9 mIU/L	15,22 (120,6) mIU/L		5.85 (-15,2) mIU/L
Jeukendrup et al., 1997	8 sujets ♂ entraînés (En), 7 sujets ♂ non entraînés (N-En), ergocycle, 120 min à 57-60 % du $\dot{V}O_2$ max (En: 2,75 L/min, N-En 2,19 L/min). Ingestion: 8 ml/kg au départ puis 2 ml/kg aux 15 minutes.	En: 127 g de glucose (8%)		11 mIU/L		4,47 (-59,4) mIU/L
		N-En: 132 g de glucose (8%)		10 mIU/L		4,57 (-54,3) mIU/L

Tableau 5 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Repos	début	pic	fin
Jeukendrup et al., 1999	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 50 % du $\dot{V}O_2$ max (2,73 L/min). Ingestion: 8 ml/kg au départ, 2 ml/kg aux 15 min.	Placebo		3,72 mIU/L		1,9 (-48,9) mIU/L
		70 g de glucose (4%)		7,3 mIU/L	8,0 (+9,5) mIU/L	2,68 (-63,3) mIU/L
		350 g de glucose (22%)		6,4 mIU/L	11,32 (+76,9) mIU/L	7,6 (+18,8) mIU/L
Leijssen et al., 1995	8 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 65 % du $W_{max}$ . Ingestion: 8 ml kg aux départ puis 2 ml/kg aux 15 min.	155 g de glucose (8%)		19 U/L		5,71 (-70,0) U/L
MacLaren et al., 1994	5 sujets ♂, ergocycle, 90 min 65% $\dot{V}O_2$ max (2,47 L/min) suivi d'un exercice à 75% $\dot{V}O_2$ max jusqu'à épuisement. Ingestion juste avant l'exercice.	P= 400ml H <sub>2</sub> O		5,67		3,4 (-40,0)
		GL= 75g de glucose		7,3	13,78 (+88,8)	9,34 (+28,0)
		MD= 75g de maltodextrine		7,3	21,08 (+188,8)	5,27 (-27,8)
		GL+G= 75g de Glucose + gomme de guar		6,49	19,46 (+199,9)	7,62 (+17,4)
		MD+G= 75g de maltodextrine et gomme de guar		4,86	13,38 (+175,3)	6,08 (+25,1)

Tableau 5 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Repos	début	pic	fin
Marmy-Conus et al., 1996	6 sujets ♂, ergocycle, 60 min à 71 % du $\dot{V}O_2$ max (3,6 L/min). Ingestion: 400 ml, 30 min avant le début de l'exercice.	Placebo 75 g de glucose (18,75)		22,4 pmol/L 44,2 pmol/L	55,5 (+147,8) pmol/L 34,6 (-21,7) pmol/L	57 (154,5) pmol/L 24,8 (-43,9) pmol/L
McConnel et al., 1994	6 sujets ♂, ergocycle, 120 min à 69% du $\dot{V}O_2$ max (3,47 L/min). Ingestion: 250 ml au début puis 250 ml aux 15 min.	Placebo 200 g glucose (10%)		49,5 pmol/L 43,4 pmol/L	91,1 (+109,9) pmol/L	18,7 (-62,2) pmol/L 53,1 (+22,4) pmol/L
Millard-Stafford et al., 1997	12 sujets ♂, tapis roulant 13,4 km à un rythme d'entraînement rapide suivi d'un sprint de 1,6 km à la fin. Ingestion 1 L 60 min avant et à volonté pendant à 7,5 km et 13,4 km	Placebo Glucides (6%) 60 g avant et 282 ml pendant Glucides (8%) 80 g avant et 298 ml pendant	8,57 $\mu$ U/ml 13,57 $\mu$ U/ml 14,29 $\mu$ U/ml			7,86 (-8,28) $\mu$ U/ml 11,43 (-15,77) $\mu$ U/ml 8,86 (-38) $\mu$ U/ml



Tableau 5 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Repos	début	pic	fin
Nicholas et al., 1995	9 sujets ♂, course interrompu (5* 15 min) suivit d'intervalles de 20 mètres à 55% $\dot{V}O_2$ max (2,5 L/min) suivi de 20 m à 95% $\dot{V}O_2$ max (4,3 L/min) jusqu'à épuisement. Ingestion 5 ml/kg au départ puis 2 ml/kg aux 15 min	Placebo	10,86 $\mu$ U/ml	10,86 $\mu$ U/ml		6,57 (-39,5) 9,2 (-15,3) $\mu$ U/ml
		59 g de CHO (6.9 %)	9,14 $\mu$ U/ml	10,2 (+11,6) $\mu$ U/ml		8,29 (-9,3) 10,34 (+13,1) $\mu$ U/ml
Paul et al., 1996	6 sujets ♂ et 6 sujets ♀, bicyclette, 90 min à 60% du $\dot{V}O_2$ max (H: 2,7 L/min, F:1,78 L/min) suivi de 6,4 km à puissance maximale. Ingestion 2 heures avant l'exercice	Placebo	191 pmol/L	196,4 (+2,8) pmol/L		156,6 (-18) pmol/L
		22,6 g de CHO (blé)	210,7 pmol/L	377,6 (+79,2) pmol/L		186,2 (-11,6) pmol/L
		22,9 g de CHO (maïs)	206,6 pmol/L	359,7 (+74,1) pmol/L		228 (+10,4) pmol/L
		17,4 g de CHO (avoine)	196,4 pmol/L	301 (+53,3) pmol/L		214,3 (+9,1) pmol/L

Tableau 5 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Repos	début	pic	fin
Peters et al., 1995	32 sujets ♂, ergocycle et tapis roulant, 180 min à 75 % $\dot{V}O_2$ max (3.63 L/min), temps de survie moyen et puissance sur un test de 3 min Ingestion 2 heures avant et pendant l'exercice	Placebo 96 g de glucides/heure (semi-solide) 108 g de glucides/heure (liquide)		7,4 mIU/L  12,7 mIU/L  13,2 mIU/L		7,2 (-2,7) 5,7 (-23,0) 19,8 (+55,9) 15,0 (+18,1) 19,7 (+49,2) 13,3 (+0,76) mIU/L
Seifert et al., 1994	6 sujets ♂, bicyclette, 50 min à 62% du $\dot{V}O_2$ max Ingestion: 20 min avant pour LCHO, 40 min avant pour HCHO.	LCHO: 22 g (Gatorade, 6%) HCHO: 72 g (maltodextrine et dextrose, 20%)	5,3 $\mu$ IU/ml 7,6 $\mu$ IU/ml	54,7 (+932,1) $\mu$ IU/ml 34 (+347,4) $\mu$ IU/ml		11,14 (+110,2) $\mu$ IU/ml 5,06 (-33,4) $\mu$ IU/ml
Thomas et al., 1994	6 sujets ♂ 65-70% $\dot{V}O_2$ max jusqu'à épuisement. Ingestion 60 minutes avant le début.	69 g de CHO (patate) 69 g de CHO(riz) 69 g de CHO (lentille) 69 g de CHO (son)	8,9 $\mu$ IU/L 8,9 $\mu$ IU/L 8,9 $\mu$ IU/L 8,9 $\mu$ IU/L	29,6 (+232,6) $\mu$ IU/L 25,89 (+190,9) $\mu$ IU/L 21,69 (+142,7) $\mu$ IU/L 21,69 (+142,7) $\mu$ IU/L		8,9 $\mu$ IU/L 8,9 $\mu$ IU/L 8,9 $\mu$ IU/L 6,78 (-33,7) $\mu$ IU/L

Tableau 5 (suite)

Auteurs	Conditions expérimentales	Glucides ingérés	Repos	début	pic	fin
Tsintzas et al., 1996	7 sujets ♂, tapis roulant départ à 70 % $\dot{V}O_2$ max jusqu'à l'épuisement (moyenne de 76% $\dot{V}O_2$ max, 3,49 L/min). Ingestion 8 ml/kg au départ puis 2 ml/kg aux 20 min.	Placebo	5,61 $\mu$ IU/L	5,61 $\mu$ IU/L		2,92 (-48,0) $\mu$ IU/L
		73 g de glucides (Galorade 5,5%)	4,72 $\mu$ IU/L	4,72 $\mu$ IU/L	10,77 (+128,2) $\mu$ IU/L	3,11 (-34,1) $\mu$ IU/L
Ventura et al., 1994	11 sujets ♂ 82% $\dot{V}O_2$ max (3,57 L/min) sur tapis roulant jusqu'à épuisement. Ingestion 30 min avant le début de l'exercice.	Placebo (100 ml)	13,55 nU/ml	9,03 (-33,4) nU/ml		
		75 g fructose (75%)	16,56 nU/ml	19,57 (+18,2) nU/ml		
		75 g glucose (75%)	15,05 nU/ml	60,22 (+300,1) nU/ml		

## **Problématique**

En résumé, l'exercice intense et prolongé entraîne une utilisation importante de glucides par l'organisme. Puisque les glucides ne peuvent être emmagasinés en quantité importante sous forme de glycogène musculaire et hépatique, les glucides exogènes donnés pendant l'exercice permettent de suppléer aux réserves de glycogène de façon à approvisionner les muscles qui nécessitent du glucose. Toutefois, seulement 50% des glucides ingérés parviennent à être oxydés.

Sachant que la vidange gastrique et l'absorption par l'intestin ne limitent pas l'oxydation des glucides exogènes donnés pendant l'effort, comment parvenir à oxyder davantage de glucides pour diminuer la quantité de lipides participant à la fourniture d'énergie?

## **Hypothèse**

Puisque l'insuline permet au glucose de pénétrer plus facilement dans la cellule musculaire et qu'elle a un pouvoir inhibiteur sur la lipolyse et sur la production hépatique de glucose, davantage de glucides exogènes devraient être oxydés en augmentant l'insulinémie pendant l'exercice. Tel que rapporté par la littérature, une dose de glucose pré exercice permet d'augmenter l'insulinémie, alors que l'ingestion de glucides per exercice a permis dans certains cas de maintenir l'insulinémie plus élevée que lors de l'ingestion d'un placebo. En combinant l'ingestion de glucose pré et per exercice,

l'insulinémie devrait être maintenue à des valeurs plus élevées que les valeurs qui sont rapportées dans la littérature. Ceci se fera en donnant une dose de 50 grammes de glucose, trente minutes avant l'exercice. Le niveau élevé d'insulinémie sera maintenu en donnant 160 grammes de glucose (divisé en 8 portions) pendant l'exercice, soit une dose de 20 grammes à toutes les 15 minutes. L'augmentation de l'insulinémie par une dose de glucose pré-exercice et maintenue par l'ingestion de glucose per exercice permettra aux muscles sollicités d'oxyder davantage de glucides exogènes.

## **CHAPITRE III**

### **MÉTHODOLOGIE**

#### **Sujets**

Six sujets masculins âgés entre 18 et 30 ans ont pris part à cette étude. Les critères de base quant à l'admissibilité des sujets à l'étude étaient d'être non fumeur, d'être en bonne santé, de posséder une tolérance normale au glucose et d'avoir une consommation maximale d'oxygène ( $\dot{V}O_2 \text{ max}$ ) d'au moins  $40 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ .

#### **Évaluation des sujets**

##### **Test de tolérance au glucose**

Au Centre Hospitalier de l'Université de Montréal, au pavillon l'Hôtel Dieu, un test de tolérance au glucose (TTG), avec une charge de 50 grammes de glucose (Glucodex R, Rougier inc., Chambly, Québec), a été administré pour les mesures des réponses insulinémique et glycémique au temps 0, 30, 60 et 120. Une glycémie supérieure à  $7,8 \text{ mmol/L}$ , 120 minutes après la surcharge de glucose indique une intolérance au glucose. Les sujets présentant une intolérance au glucose ne participaient pas à l'étude. De plus, ce test permettait de vérifier la cinétique de l'insulinémie afin d'identifier le moment de la réponse insulinémique maximale pour une dose de 50 grammes de glucose.

### **Test d'effort maximal progressif**

Pour chaque sujet, une épreuve d'effort maximal avec mesure du  $\dot{V}O_2$  max sur ergocycle avec augmentation progressive des charges, a été effectuée. Après avoir pris connaissance des objectifs et des risques de l'expérimentation et après avoir répondu et signé le Q-AAP, le sujet prenait place sur un ergocycle. Pour la totalité du test, le sujet devait maintenir une fréquence de pédalage de 80 révolutions par minute. L'épreuve se divisait en paliers de 2 minutes. La charge initiale de 1 Kp augmentait de 0,5 Kp à chacun des paliers. La fin du test correspondait à l'atteinte d'un des critères de l'American College of Sports Medicine (1995), tel que l'atteinte d'un plateau dans la consommation d' $O_2$  ou l'incapacité du sujet de maintenir la cadence imposée. La consommation d' $O_2$  était mesurée aux 30 secondes par un analyseur de gaz (Analyser Marquette, Medical gas analyser MGA-110). Le sujet bénéficiait avant le début de l'épreuve d'une période d'échauffement d'une minute.

### **Protocole expérimental**

Pendant les trois jours précédant le test, les sujets ont évité de consommer des aliments riches en  $^{13}C$  et ils se sont abstenus de pratiquer toute activité physique intense et/ou prolongée. L'alcool était également proscrit du régime pendant cette période, tout comme la cigarette (ce qui a été bien respecté puisque les sujets étaient non fumeurs). Le souper le soir précédent, tout comme le déjeuner le matin du test, étaient standardisés et sont détaillés au tableau 6.

Tableau 6  
Description des repas standardisés

Souper (entre 18:00 et 19:00)	Déjeuner (7:00 précisément)
300 g de spaghettini	2 tranches de pain blanc
250 ml de sauce tomate Heinz	1 tranche de fromage
1 boîte de fruits en coupe Del Monte (poires et pêches)	200 ml de jus d'orange Oasis
250 ml de lait 2%	

Les sujets sélectionnés se sont ensuite présentés au laboratoire de physiologie de l'exercice du département d'éducation physique de l'Université de Montréal. Ils s'y sont rendus à quatre reprises pour y effectuer un exercice de 120 minutes, à 65% du  $\dot{V}O_2$  max selon quatre conditions expérimentales, effectuées à simple insue et détaillées au tableau 7. La période d'exercice était répétée selon quatre combinaisons de breuvages. La solution pré exercice était composée de Succaryl ou de 50 grammes de glucose, (enrichi naturellement à -11,03 ‰  $\delta^{13}C$  PDB-1, Biopharm, Montréal, Canada) enrichi ou non selon les conditions, dissous dans 300 ml d'eau. Cette solution était ingérée 30 minutes avant le début de l'exercice afin d'amorcer l'exercice avec une insulinémie à son apogée. La solution per exercice était composée de 160 grammes de glucose dans 1000 ml d'eau. Ce breuvage était divisé en 8 parties égales de 137 ml contenant 20 g de



glucose dans 125 ml d'eau et ingérées toutes les 15 minutes à partir du début de l'exercice.

À l'arrivée au laboratoire, une infirmière posait un cathéter flexible en téflon dans une veine antécubitale, laquelle était maintenue ouverte par l'infusion d'une solution physiologique (NaCl, 0,9%).

Tel qu'illustré à la figure 1, quinze minutes après son arrivée, soit 30 minutes avant le début de l'exercice, le sujet ingérait la première solution (la solution pré exercice). Au temps 0, soit 45 minutes après l'installation du cathéter le sujet débutait l'exercice de 120 minutes, à 65 % du  $\dot{V}O_2$  max sur ergocycle (Ergomeca, La Bayette, France), et ingérait la seconde solution (solution per exercice) respectivement aux temps 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 et 120 minutes.

### **Conditions expérimentales**

La condition contrôle était la condition pla/pla. La condition pla/glu\* a permis de vérifier l'hypothèse, puisque l'oxydation du glucose exogène a été mesurée lorsque l'insulinémie n'était pas préalablement élevée. La condition glu/glu\* isole l'oxydation du glucose exogène ingéré pendant l'exercice lorsque l'insulinémie est préalablement haussée. Finalement la condition glu\*/glu permet d'isoler la contribution du glucose ingéré avant l'exercice, mais oxydé pendant l'exercice avec l'insulinémie préalablement élevée. Ces deux dernières conditions combinées permettent de calculer l'oxydation

totale de glucose exogène provenant du glucose pré et per exercice pendant l'exercice. Une semaine d'intervalle séparait chaque visite et l'ordre de chacune des quatre conditions était effectuée de façon aléatoirement.

Tableau 7  
Conditions expérimentales

Condition	Pré exercice	Per exercice
pla/pla	Succaryl	Succaryl
pla/glu*	Succaryl	Glucose + 21,94 ‰ $\delta^{13}\text{C}$ PDB-1
glu/glu*	Glucose -10 ‰ $\delta^{13}\text{C}$ PDB-1	Glucose + 134,87 ‰ $\delta^{13}\text{C}$ PDB-1
glu*/glu	Glucose +139,22 ‰ $\delta^{13}\text{C}$ PDB-1	Glucose -10 ‰ $\delta^{13}\text{C}$ PDB-1

Le calcul de l'oxydation de glucose exogène était possible grâce à l'enrichissement en  $^{13}\text{C}$  du glucose qui provenait d'une source de U  $^{13}\text{C}$ -glucose et dont le ratio  $^{13}\text{C}/\text{C}$  était de 99% (Isotec, Miamisburg, OH). Au tableau 7, l'enrichissement en  $^{13}\text{C}$ -glucose est donné en ‰  $\delta^{13}\text{C}$  PDB<sup>-1</sup> (valeur exprimée en partie par mille par rapport à un standard international) pour les conditions pla/glu\*, glu/glu\* et glu\*/glu.

Les taux élevés d'enrichissement en  $^{13}\text{C}$  (enrichissement artificiel) sont nécessaires pour permettre un signal isotopique suffisamment puissant pour minimiser l'effet de bruit de fond.

## Mesures

### Les gaz

Les valeurs de  $\dot{V}O_2$  et de  $VCO_2$ , permettant les calculs d'oxydation de glucides et de lipides, ont été obtenues par calorimétrie indirecte respiratoire (Analyseur de gaz Marquette, MGA-1100). Les mesures de  $\dot{V}O_2$  et de  $VCO_2$  ont été prises au repos, avant l'ingestion et à toutes les 15 minutes à partir du début de l'exercice jusqu'à la fin. Les sujets se familiarisaient à l'embout permettant d'acheminer les gaz à l'analyseur pendant deux minutes avant que l'appareil ne commence à enregistrer les données (pendant 3 minutes).

La collecte des gaz expirés a été effectuée au repos avant l'ingestion et aux 15 minutes durant l'exercice. Les échantillons ont été recueillis pour en faire l'analyse du ratio isotopique de  $^{13}C/^{12}C$  provenant du  $CO_2$  expiré. C'est à partir des échantillons de gaz expirés que le calcul de l'oxydation de glucose exogène est possible.

Chacun des échantillons de gaz expirés, collectés dans le même sac (l'échantillon représente la moyenne de trente minutes), a été transféré du sac Douglas à quatre Vacutainer (Becton Dickson Vacutainer systems, Rutherford, NJ, USA) de 20 ml pour fin d'analyse au laboratoire de géochimie isotopique de l'Université du Québec à Montréal (GÉOTOP). Les échantillons de gaz ont été plongés successivement dans un bain d'azote (-196 °C) puis dans un bain contenant de l'alcool isopropylique et de la glace sèche (-80 °C). Ces bains ont permis d'isoler le  $CO_2$  pour ultérieurement en

déterminer le ratio isotopique de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  par spectrométrie de masse (Prism, VG, Manchester, UK). Cette technique est régulièrement utilisée et décrite dans Adopo et al. (1994).

### **Les échantillons sanguins**

Les prélèvements sanguins ont été faits au repos avant l'ingestion, quinze minutes avant le début de l'exercice et ensuite à toutes les trente minutes, du début de l'exercice jusqu'à la fin. Le sang était prélevé dans des tubes avec EDTA et, après centrifugation le plasma était congelé pour être analysé ultérieurement. Le glucose plasmatique était mesuré selon la méthode enzymatique avec l'hexokinase de Sigma Diagnostics (St-Louis, MO), l'insuline par essai radioimmunologique de l'Immunocorp (Québec, Canada) et les acides gras libres par essai calorimétrique de Waco Chemicals (Richmond, VA). Puisque les conditions glu/glu\* et glu\*/glu sont identiques quant à l'apport de glucose, et afin de minimiser les prélèvements sanguins, ces derniers n'ont pas été effectués à la condition glu\*/glu.

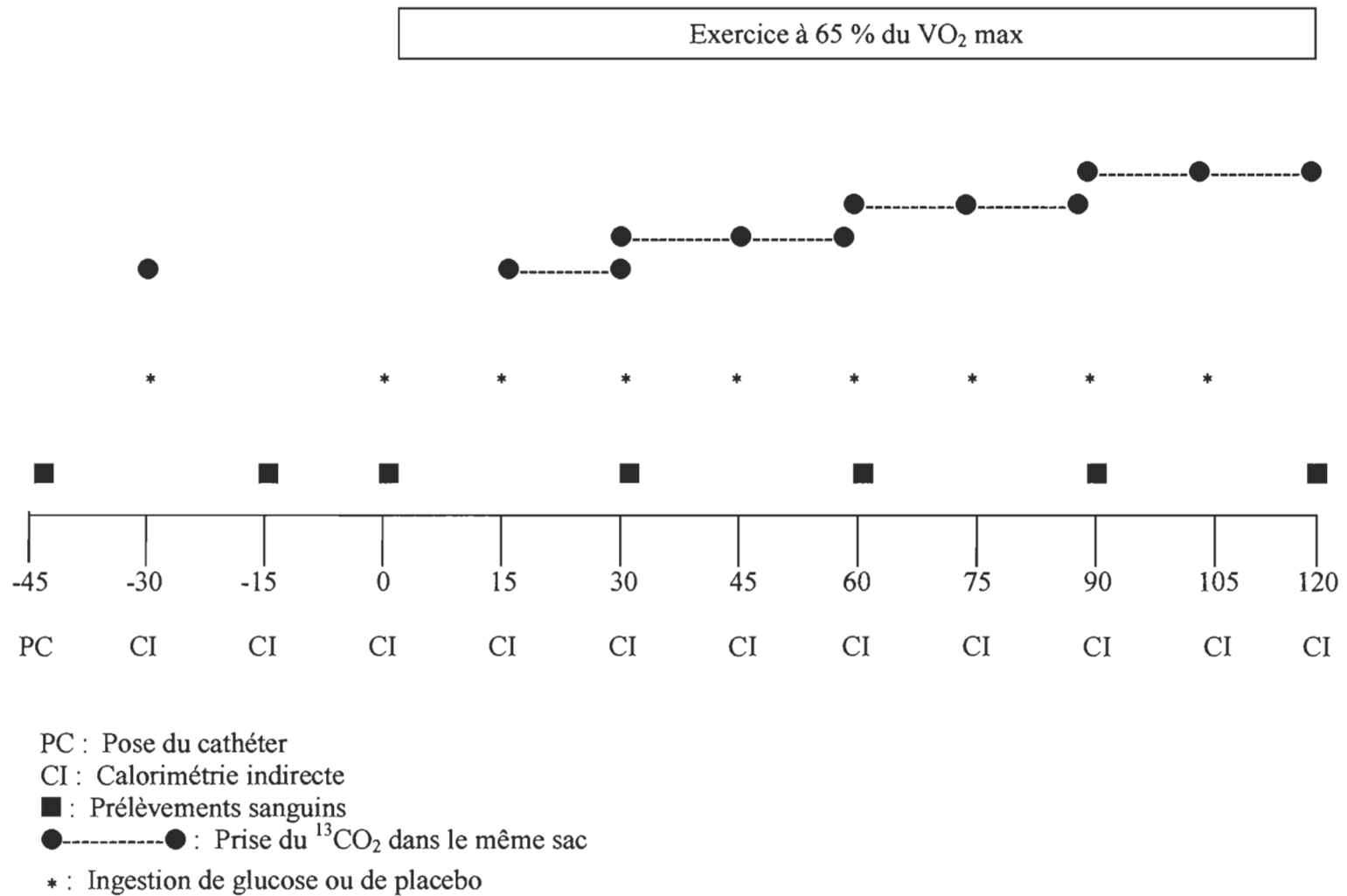


Figure 1. Protocole expérimental

## Calculs

Oxydation des lipides et des glucides :

$$VCO_2 = 0,7426 \times \text{masse des glucides} + 1,4136 \times \text{masse des lipides}$$

$$\dot{V}O_2 = 0,7455 \times \text{masse des glucides} + 2,0092 \times \text{masse des lipides}$$

$$\text{Oxydation du glucose exogène} = VCO_2 [ (R_{\text{exp}} - R_{\text{ref}}) / (R_{\text{exo}} - R_{\text{ref}}) ] / k$$

$R_{\text{exp}}$ : Composition isotopique du  $CO_2$  expiré à l'exercice

$R_{\text{ref}}$ : Composition isotopique du  $CO_2$  expiré au repos avant ingestion

$R_{\text{exo}}$ : Composition isotopique du glucose exogène ingéré

$k$ : (0,7426 L/g) constante qui représente le volume de  $CO_2$  produit par l'oxydation du glucose.

Oxydation des glucides endogènes = oxydation des glucides totaux - oxydation du glucose exogène.

## Analyses statistiques

Les résultats sont présentés en moyenne  $\pm$  erreur standard de la moyenne. Pour déterminer les différences possibles entre les conditions et à travers le temps, l'analyse de variance à une voie ou à deux voies avec mesures répétées suivie d'un test post-hoc Student-Newman-Keuls, fût utilisée. Le seuil significatif était de  $p < 0,05$ .

## CHAPITRE IV

### RÉSULTATS

#### Caractéristiques des sujets

Au tableau 8, une description des sujets est présentée. La glycémie à jeun des sujets était dans les valeurs normales, tout comme le test de tolérance au glucose (TTG).

Tableau 8

Description des sujets

Caractéristiques	Valeurs (moyennes $\pm$ ES)
Nombre	6
Sexe	Masculin
Âge	25,7 $\pm$ 1,4 ans
Poids	75,6 $\pm$ 4,4 kg
Taille	1,78 $\pm$ 3,7 m
IMC	24,1 $\pm$ 1,2 kg/m <sup>2</sup>
$\dot{V}O_2$ max	49,8 $\pm$ 3,3 ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>
Glycémie à jeun	4,7 $\pm$ 0,2 mmol/L

### Caractéristiques du travail

La fréquence cardiaque, le  $\dot{V}O_2$ , le  $VCO_2$ , la dépense énergétique ainsi que l'intensité de travail sont présentées au tableau 9 pour chaque condition et ce, pour la durée totale de l'exercice. Aucune différence significative n'a été observée entre les conditions pour ces variables. Les sujets ont travaillé à une intensité de  $65,3 \pm 1,33 \%$  du  $\dot{V}O_2$  max.

Tableau 9

Fréquence cardiaque,  $\dot{V}O_2$ ,  $VCO_2$ , dépense énergétique et intensité de travail pour chacune des conditions expérimentales au cours de l'exercice de 120 minutes (moyennes  $\pm$  ES).

Conditions expérimen- tales	Fréquence cardiaque (bat/min)	$\dot{V}O_2$ (L/min)	$VCO_2$ (L/min)	Dépense énergétique (KiloJoules)	Intensité (ml d'O <sub>2</sub> ·kg <sup>1</sup> ·min <sup>-1</sup> )
Pla/Pla	149,9 $\pm$ 2,6	2,43 $\pm$ 0,05	2,18 $\pm$ 0,04	353,7 $\pm$ 14,1	63,7 $\pm$ 2,1
Pla/Glu*	151,4 $\pm$ 2,8	2,45 $\pm$ 0,05	2,25 $\pm$ 0,05	357,6 $\pm$ 15,1	66,6 $\pm$ 3,9
Glu/Glu*	153,2 $\pm$ 2,2	2,42 $\pm$ 0,06	2,22 $\pm$ 0,05	353,1 $\pm$ 17,6	65,3 $\pm$ 2,2
Glu*/Glu	153,1 $\pm$ 2,2	2,41 $\pm$ 0,05	2,18 $\pm$ 0,05	350,7 $\pm$ 15,4	65,2 $\pm$ 2,5



## Paramètres sanguins

### Glycémie

La figure 1 représente la concentration plasmatique de glucose, en mmol/L, en fonction du temps. Tel qu'escompté, l'ingestion de placebo avant et pendant l'exercice n'a pas modifié de façon significative la glycémie. Lorsque le glucose a été ingéré au cours de l'exercice, la glycémie augmentait progressivement sans toutefois atteindre le seuil significatif, passant de  $4,46 \pm 0,48$  mmol/L à -45 minutes au repos avant l'ingestion à  $6,43 \pm 0,31$  mmol/L à -15 minutes. Par ailleurs, lorsque 50 g de glucose était ingéré 30 minutes précédant l'exercice, en plus du 160 g de glucose per exercice, la glycémie augmentait progressivement passant de  $4,44 \pm 0,26$  à  $6,31 \pm 0,71$  mmol/L ( $p < 0,05$ ). L'ingestion de glucose pendant l'exercice, qu'il soit précédé par l'ingestion de 50 g de glucose ou d'un placebo, engendrait une glycémie plus élevée aux temps 60 et 120 que lorsque le placebo (pla/pla) était ingéré à ces moments ( $p < 0,05$ ).

### Insulinémie

La concentration d'insuline plasmatique, exprimée en pmol/L en fonction du temps, est présentée à la figure 2. L'ingestion d'un placebo pré et per exercice n'a pas influencé significativement l'insulinémie avant et pendant l'exercice. L'ingestion de glucose pendant l'exercice a permis de réduire la chute de l'insulinémie pendant l'exercice. L'insulinémie est donc restée constante à partir de la trentième minute d'exercice jusqu'à

la fin à  $119,6 \pm 4,9$  pmol/L pour la condition pla/glu\*. Par contre, l'ingestion de glucose pré exercice n'a pas permis d'augmenter significativement l'insulinémie au cours de l'exercice puisqu'à la condition glu/glu\* l'insulinémie s'est maintenue à partir de la trentième minute à  $115,7 \pm 2,6$  pmol/L; celle-ci n'étant pas significativement différente de celle rencontrée lorsque le glucose est ingéré uniquement pendant l'exercice. Par contre, tel que prévu par le test de tolérance au glucose, la dose de 50 grammes de glucose pré exercice a permis de débiter l'exercice avec l'insulinémie à son apogée. La dose de glucose pré exercice a permis d'augmenter significativement l'insulinémie par rapport aux autres conditions, au temps zéro, et était significativement plus élevée qu'à tous les autres moments de l'étude, atteignant au début de l'exercice  $415,4 \pm 74,4$  pmol/L.

### **Acides gras libres**

La concentration d'acides gras libres plasmatiques (AGL) exprimée en mmol/L et en fonction du temps, est présentée à la figure 3. Lorsque le placebo est ingéré avant et pendant l'exercice, la concentration plasmatique d'AGL a augmenté progressivement au cours de l'exercice et était significativement plus élevée aux temps 90 et 120 minutes qu'à tout autre moment du protocole. Parallèlement au temps 60 minutes, la concentration d'AGL était significativement plus élevée qu'au repos (-45,-15,0). L'ingestion de glucose per exercice a permis d'éviter une augmentation importante, en fin d'exercice de la concentration plasmatique d'AGL puisque, pour les conditions

pla/glu\* et glu/glu\*, aucune différence significative n'a été rencontrée tout au long du protocole. La concentration plasmatique d'AGL était significativement plus élevée à la fin de l'exercice avec l'ingestion du placebo per exercice (pla/pla) qu'avec l'ingestion du glucose per exercice (temps 60,90 et 120 minutes pour pla/glu\* vs pla/pla et temps 90 et 120 minutes pour glu/glu\* vs pla/pla).

### **Oxydation des lipides**

La quantité totale en gramme de lipides oxydés pendant toute la durée de l'exercice est représentée en grammes à la figure 4. Avec l'ingestion de placebo tout au long de l'exercice, l'oxydation des lipides était légèrement supérieure ( $46,5 \pm 5,0$  g) que lorsque le glucose était ingéré pré et/ou per exercice ( pla/glu\*:  $39,0 \pm 4,8$  g, glu/glu\*:  $39,1 \pm 4,9$  g, glu\*/glu:  $45,3 \pm 4,1$ ). Par contre, ces différences n'ont pas atteint le seuil de signification.

La cinétique de l'oxydation des lipides est présentée à la figure 5. L'oxydation des lipides a augmenté significativement tout au long de l'exercice dans toutes les conditions expérimentales. Pour la condition pla/pla, elle a augmenté de  $0,25 \pm 0,03$  g/min à  $0,47 \pm 0,08$  g/min ( $p < 0,05$ ) avec un pic au temps 90 minutes à  $0,51 \pm 0,11$  g/min ( $p < 0,05$  vs temps 30 et 60 minutes). Lorsque le placebo était ingéré avant l'exercice et que 160 g de glucose était ingéré pendant l'exercice, l'oxydation de lipides a augmenté de  $0,26 \pm 0,04$  g/min en début d'exercice à  $0,39 \pm 0,04$  g/min en fin d'exercice. L'ingestion de glucose pré et per exercice entraîne également une augmentation de l'oxydation des lipides

puisque celle-ci a augmenté de  $0,21 \pm 0,05$  g/min à  $0,41 \pm 0,04$  g/min pour la condition glu/glu\*, et de  $0,27 \pm 0,04$  g/min à  $0,47 \pm 0,03$  g/min pour la condition glu\*/glu. Entre les conditions, il n'y a pas eu de différences significatives quant à l'oxydation des lipides pour chaque temps, à l'exception de la valeur donnée au temps 90 de la condition pla/pla où l'oxydation des lipides a été significativement plus élevée qu'avec l'ingestion d'un placebo pré exercice suivi de glucose per exercice.

## **Oxydation des glucides**

### **Oxydation des glucides totaux**

L'oxydation des glucides totaux en grammes pour la période de 120 minutes d'exercice est présenté à la figure 6. L'oxydation des glucides totaux était de  $260,4 \pm 14,5$  g pour la condition pla/pla;  $289,1 \pm 18,5$  g pour la condition pla/glu\*;  $283,8 \pm 18,2$  g pour la condition glu/glu\* et de  $265,6 \pm 18,4$  g pour la condition glu\*/glu. Considérée dans son ensemble, l'oxydation des glucides n'était pas significativement différente entre les quatre conditions précédentes.

### **Oxydation des glucides exogènes**

L'oxydation du glucose exogène pour la période de 120 minutes d'exercice est illustrée à la figure 7. L'ingestion de 160 g de glucose pendant l'exercice a permis d'oxyder  $52,8 \pm 2,6$  g de glucose, soit 33 % de la quantité totale ingérée. L'ajout d'une

collation glucidique de 50 g de glucose pré exercice (glu/glu\*) entraîne une diminution significative de l'oxydation du glucose exogène ingéré au cours de l'exercice (seulement  $43,0 \pm 1,45$  g vs  $52,8 \pm 2,61$  g;  $p < 0,05$ ). L'oxydation per exercice du glucose pré exercice est donnée par la condition glu\*/glu. Du 50 g de glucose ingéré avant l'exercice,  $36,3 \pm 2,37$  g étaient oxydés, soit 74% de la quantité totale ingérée. En combinant les conditions glu\*/glu et glu/glu\*, (condition glu\*/glu\*)  $79,2 \pm 2,96$  g de glucose exogène est oxydé pendant l'exercice, soit 38% de l'ingestion totale.

Le glucose ingéré pendant l'exercice est significativement plus oxydé lorsqu'un placebo (pla/glu\*) est ingéré avant l'exercice, plutôt que lorsque le glucose est ingéré avant (glu/glu\*). De la même manière, significativement plus de glucose exogène est oxydé à l'exercice lorsqu'il est ingéré avant et pendant l'exercice (glu\*/glu\*) que lorsque le glucose est ingéré uniquement pendant l'exercice (pla/glu\*). Parallèlement, le glucose ingéré avant l'exercice (glu\*/glu) participe significativement moins à la fourniture d'énergie que le glucose ingéré pendant (glu/glu\*).

La figure 8 illustre la cinétique de l'oxydation du glucose exogène, en grammes par minute (g/min). L'oxydation du glucose ingéré pendant l'exercice, lorsque précédé d'un placebo, a augmenté significativement du début de l'exercice ( $0,12 \pm 0,02$  g/min) à la fin de l'exercice ( $0,70 \pm 0,04$  g/min). L'oxydation du glucose exogène pour la condition pla/glu\* à la deuxième heure d'exercice était plus élevée qu'au cours de la première heure d'exercice ( $p < 0,05$ ). L'oxydation du glucose ingéré pendant l'exercice, lorsque précédé trente minutes avant par l'ingestion d'une solution contenant 50 g de glucose

(glu/glu\*), a augmenté de  $0,13 \pm 0,03$  g/min en début d'exercice à  $0,58 \pm 0,03$  g/min en fin d'exercice. Le glucose ingéré avant l'exercice est oxydé constamment tout au long de l'exercice à environ  $0,30 \pm 0,02$  g/min. Lorsque l'oxydation du glucose ingéré avant est combinée à celle du glucose ingéré pendant l'exercice, l'oxydation du glucose exogène a augmenté significativement de  $0,46 \pm 0,04$  g/min en début d'exercice à  $0,84 \pm 0,03$  g/min, à la fin de l'exercice ( $p < 0,05$  vs temps 30,60 et 90).

À la deuxième heure d'exercice, l'oxydation du glucose exogène pour la condition pla/glu\* était significativement plus élevée que lorsque le glucose était également ingéré avant l'exercice (glu/glu\* et glu\*/glu). Le glucose ingéré 30 minutes avant le début de l'exercice est oxydé à un taux plus élevé 30 minutes après le début de l'exercice par rapport aux conditions où le glucose est également ingéré avant l'exercice ( $p < 0,05$  vs glu\*/glu et glu/glu\*). Par rapport à toutes les autres conditions, lorsque le glucose est ingéré avant et pendant l'exercice, il est oxydé à un taux plus élevé ( $p < 0,05$ ), en tout temps au cours de l'exercice,.

### **Oxydation des glucides endogènes**

L'oxydation des glucides endogènes est illustrée à la figure 9. L'ingestion d'un placebo avant et pendant l'exercice a nécessité la participation des glucides endogènes à raison de  $260,4 \pm 14,5$  grammes pour toute la durée de l'exercice. Significativement plus de glucides endogènes sont utilisés lorsque le placebo est ingéré durant tout le protocole que lors de l'ingestion de placebo avant l'exercice seulement. Lorsque le

placebo n'est ingéré qu'avant l'exercice (pla/glu\*), ce sont  $236,4 \pm 17,9$  grammes de glucides endogènes qui sont nécessaires pour “soutenir” la production d'énergie. Une économie significative des réserves endogènes de glucides a été observée lorsque du glucose est ingéré avant et pendant l'exercice (glu\*/glu\*) par rapport aux conditions où le placebo est ingéré avant l'exercice (pla/pla et pla/glu\*). En effet, seulement  $195,5 \pm 17,6$  g de glucides endogènes ont été utilisés lors de la condition glu\*/glu\*.

La figure 10 illustre la cinétique de l'oxydation des glucides endogènes en grammes par minute. Lorsque le placebo est ingéré avant et pendant l'exercice, la contribution des réserves endogènes s'est maintenue à environ  $2,26 \pm 0,09$  g/min pour chaque période de 30 minutes. La contribution des réserves endogènes, suite à l'ingestion de glucose pendant l'exercice (pla/glu\*), a diminué de  $2,34 \pm 0,16$  g/min à  $1,67 \pm 0,17$  g/min en fin d'exercice ( $p < 0,05$ ). De la même manière, cette contribution a diminué de  $2,06 \pm 0,17$  g/min à  $1,29 \pm 0,12$  g/min pour la condition glu\*/glu\* ( $p < 0,05$ ).

### **Pourcentage d'énergie des différents substrats**

Le pourcentage d'énergie provenant de chacun des substrats pour toutes les conditions est présenté au tableau 10. Le pourcentage d'énergie provenant des lipides pour la condition pla/pla, est significativement plus élevé que pour les conditions pla/glu\* et glu\*/glu\*. Curieusement il en est de même pour la condition glu\*/glu.

Tableau 10

Pourcentage d'énergie fournie par les lipides, les glucides endogènes et le glucose exogène pour chacune des conditions.

Substrats	pla/pla	pla/glu*	glu/glu*	glu*/glu	glu*/glu*
Lipides	30,6 ± 2,9 #	25,1 ± 3,0	25,5 ± 2,7	29,9 ± 2,6#	N/D
Glucides endogènes	68,3 ± 3,2*	61,3 ± 3,0*	N/D	N/D	51,5 ± 2,8*
Glucose exogène	N/D	13,6 ± 0,96*	11,3 ± 0,68*	9,54 ± 0,78*	20,8 ± 1,33*

\*  $p < 0,05$  vs les autres conditions

#  $p < 0,05$  vs conditions pla/glu\* et glu/glu\*

Le pourcentage d'énergie provenant des glucides endogènes est significativement plus élevé lorsque seul le placebo est ingéré au cours du protocole, que lorsque du glucose est ingéré pendant l'exercice (pla/glu\* et glu\*/glu\*). De plus, avec l'ingestion de glucides per exercice précédée par l'ingestion de placebo (pla/glu\*), le pourcentage de la contribution des glucides endogènes à la fourniture d'énergie est significativement plus élevé que lorsque le glucose per exercice est précédé par l'ingestion de glucose pré exercice (glu\*/glu\*).

Le pourcentage d'énergie fournit par le glucose exogène est significativement plus élevé avec l'ingestion de glucose uniquement pendant l'exercice (pla/glu\*) que la contribution du glucose exogène provenant de l'ingestion per exercice (glu/glu\*) et de



l'ingestion pré-exercice ( $\text{glu}^*/\text{glu}$ ). Par contre, le pourcentage d'énergie fournit par le glucose exogène pendant l'exercice ( $\text{glu}^*/\text{glu}^*$ ) est plus élevé qu'à toutes les autres conditions ( $p < 0,05$ ).

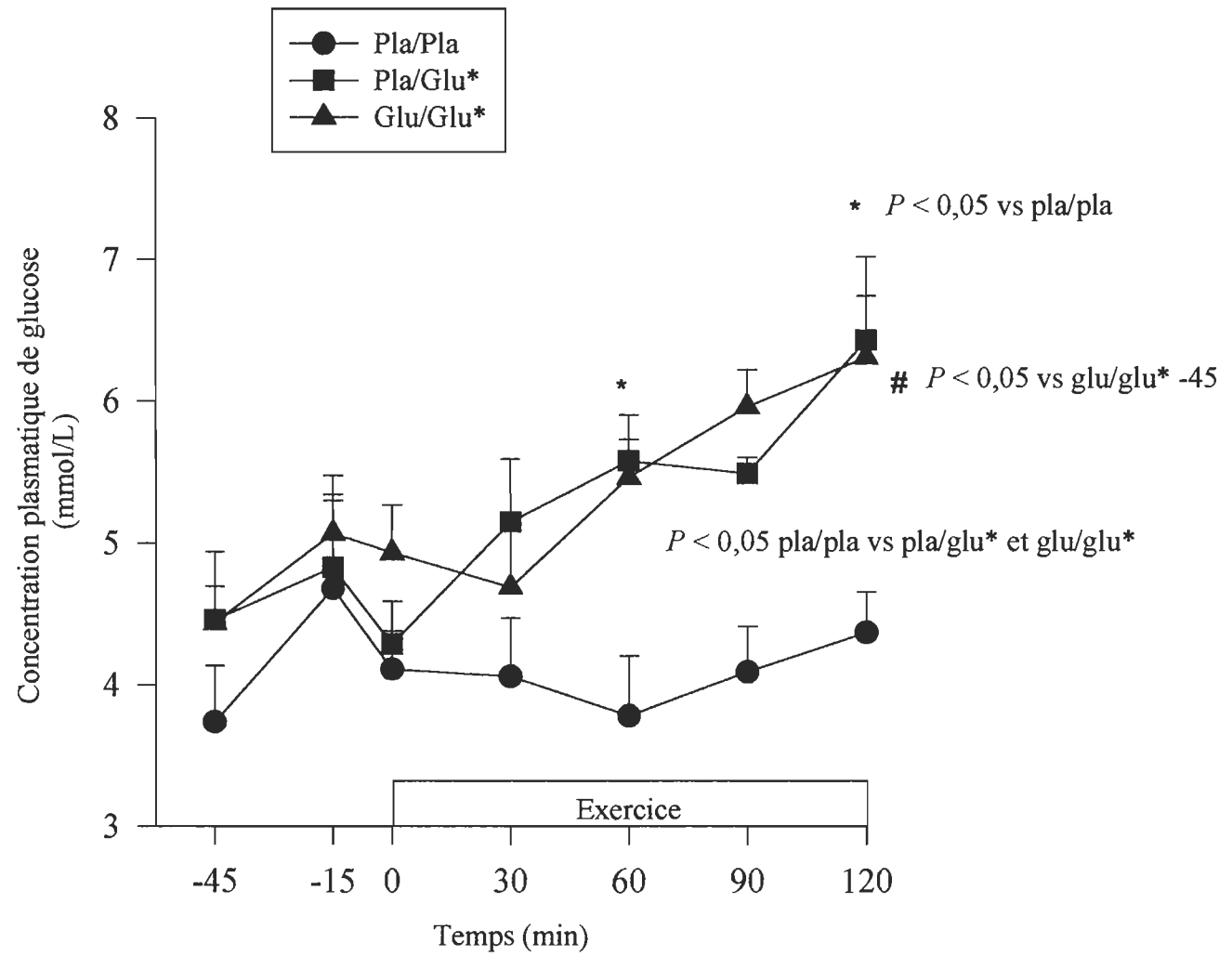


Figure 2. Concentration plasmatique de glucose en fonction du temps

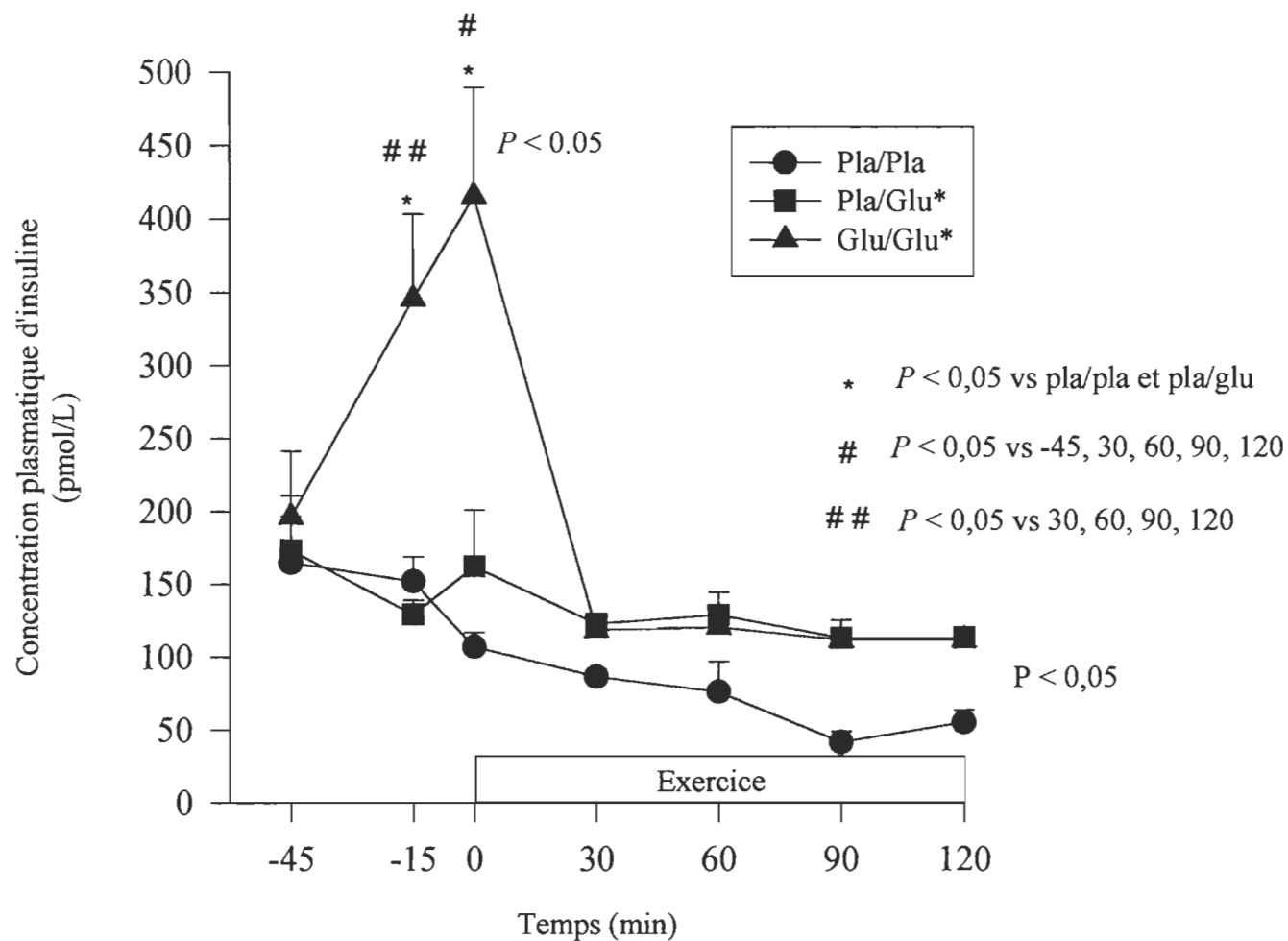


Figure 3. Concentration d'insuline plasmatique en fonction du temps.

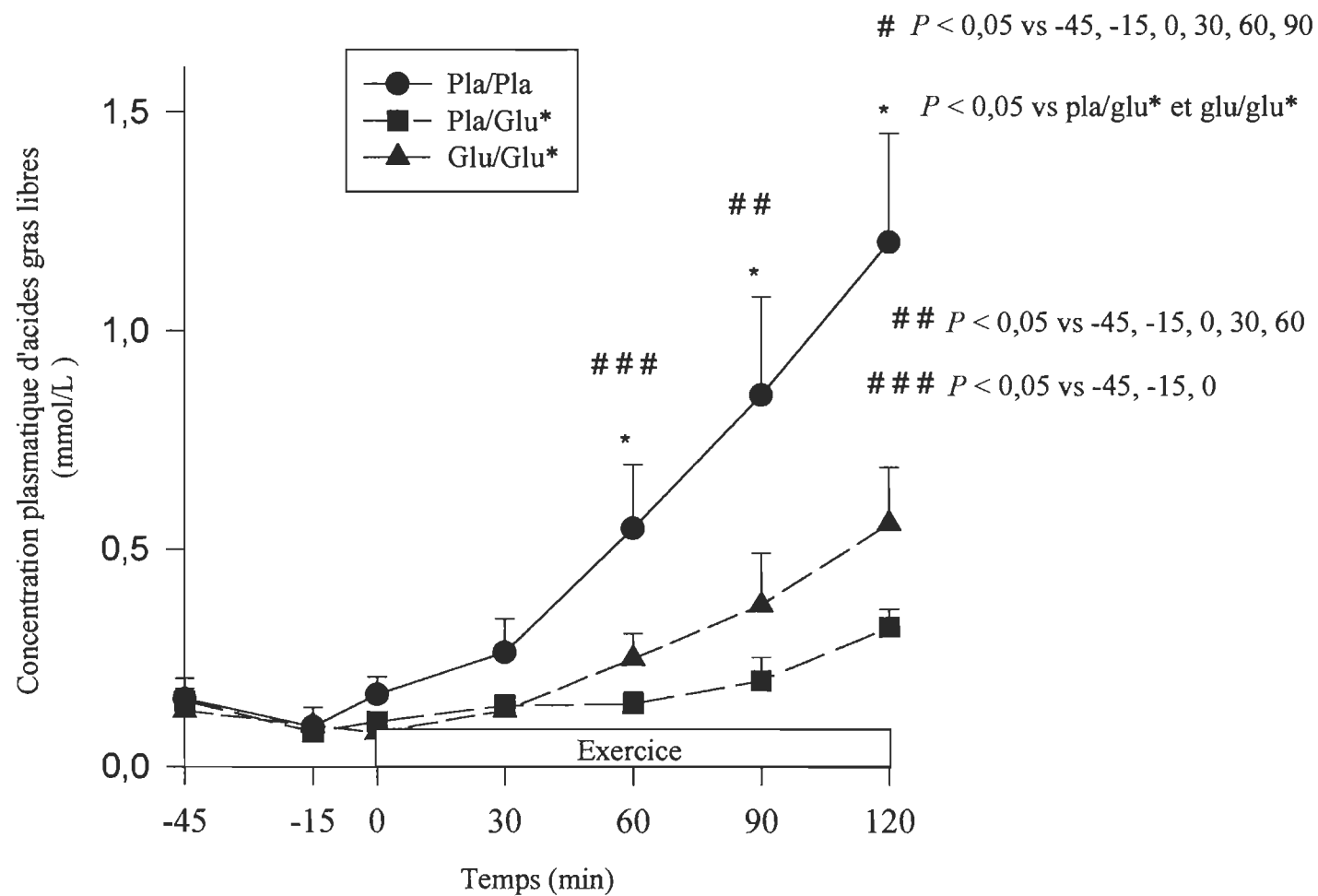


Figure 4. Concentration plasmatique d'acides gras libres en fonction du temps.

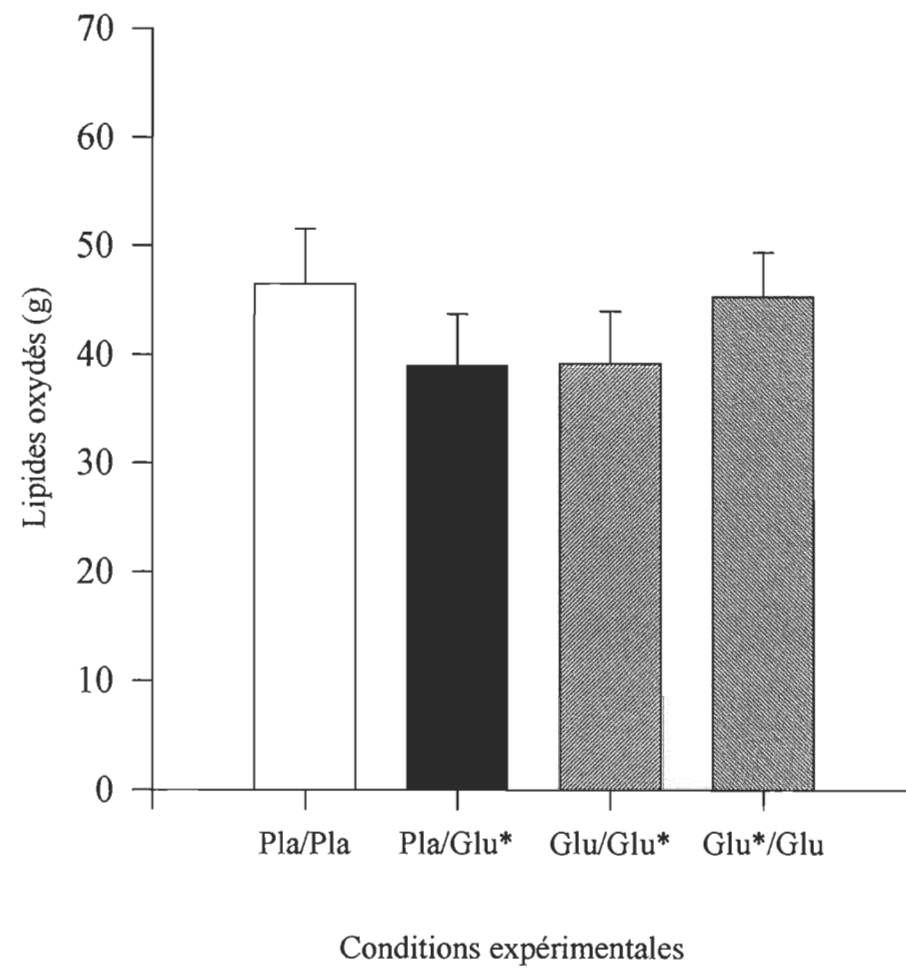


Figure 5. Quantité de lipides oxydés au cours de l'exercice de 120 minutes.

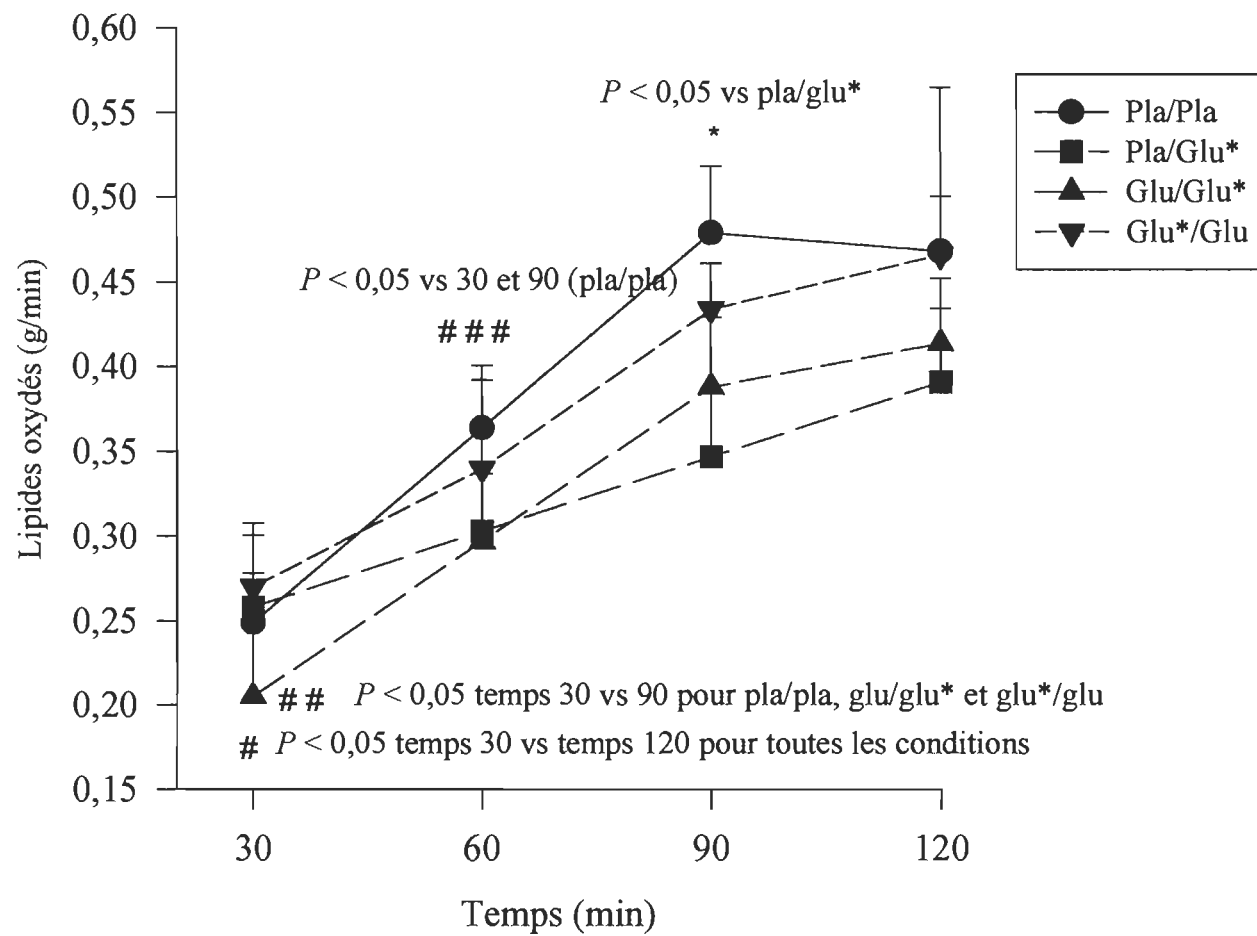


Figure 6. Cinétique de l'oxydation des lipides au cours de l'exercice de 120 minutes.

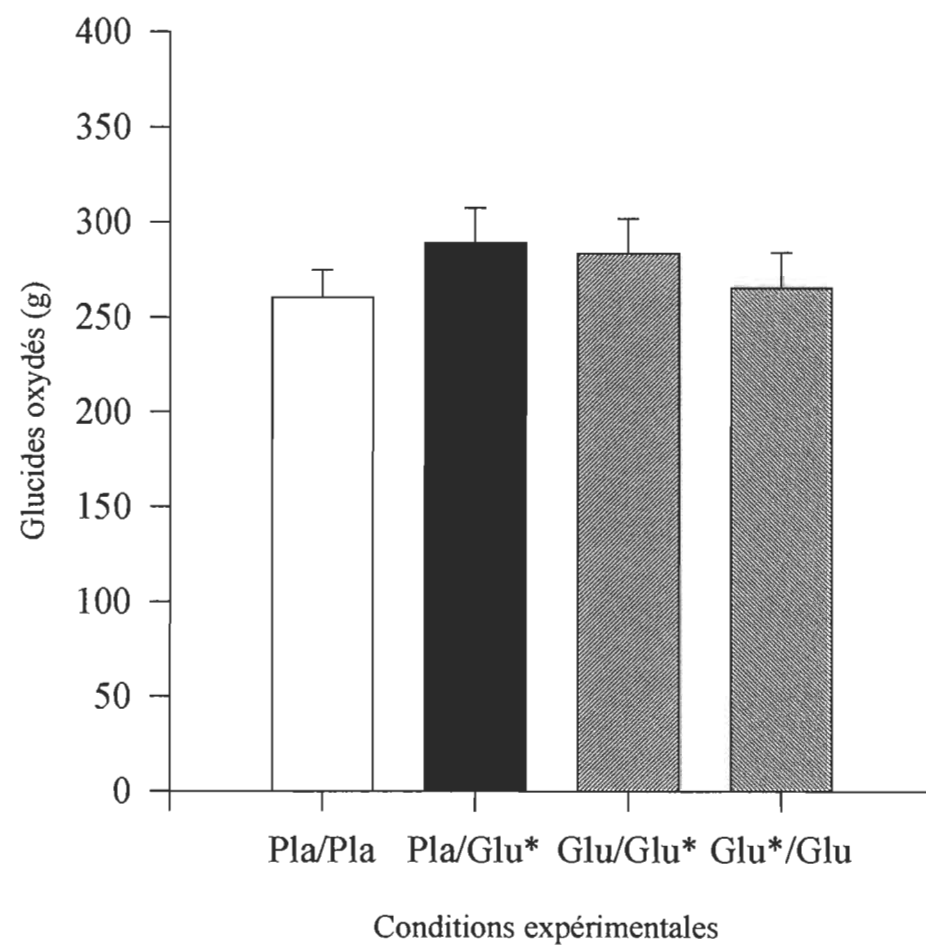


Figure 7. Quantité de glucides oxydés au cours de l'exercice de 120 minutes.

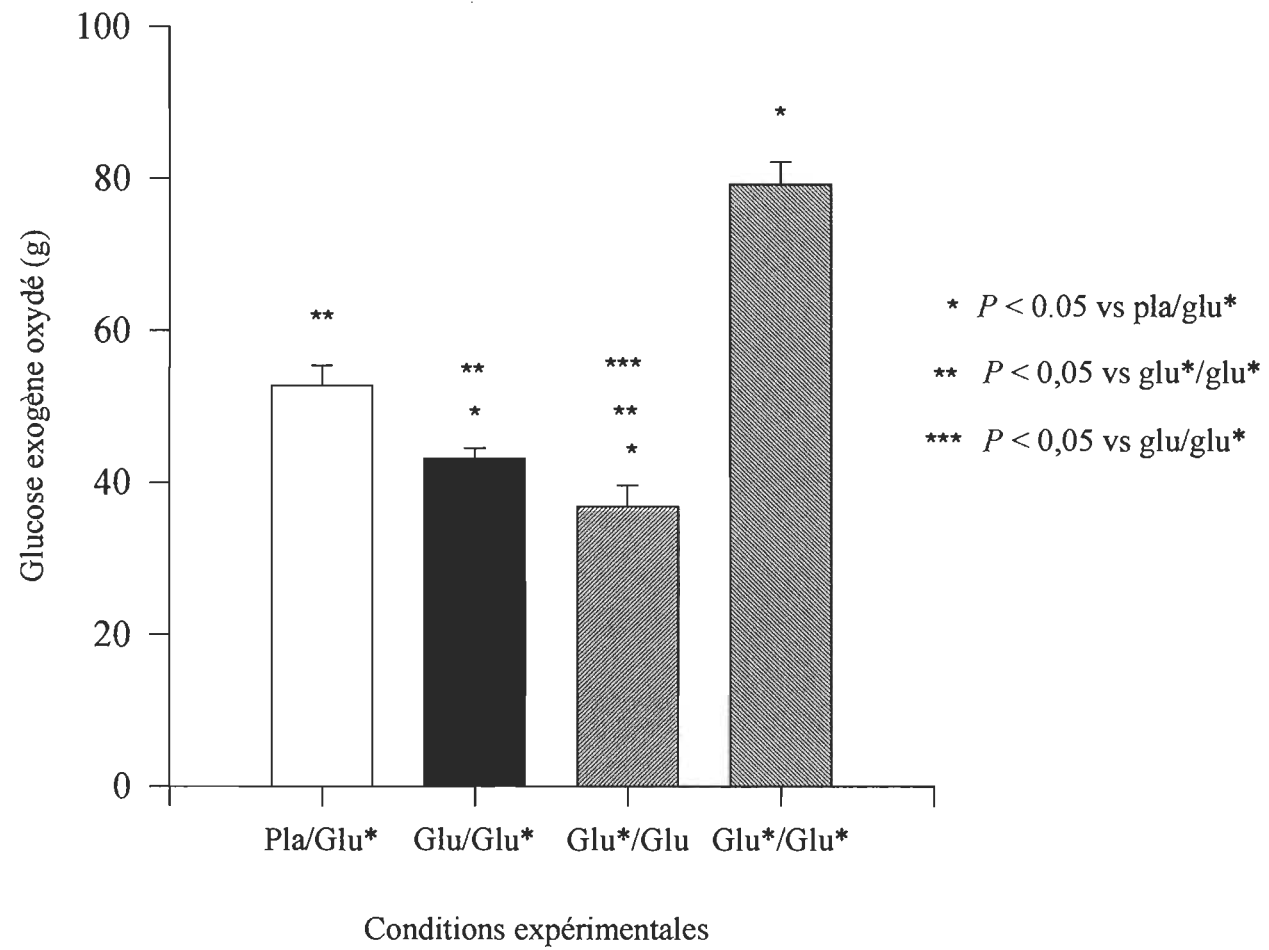


Figure 8. Quantité de glucose exogène oxydé au cours de l'exercice de 120 minutes.



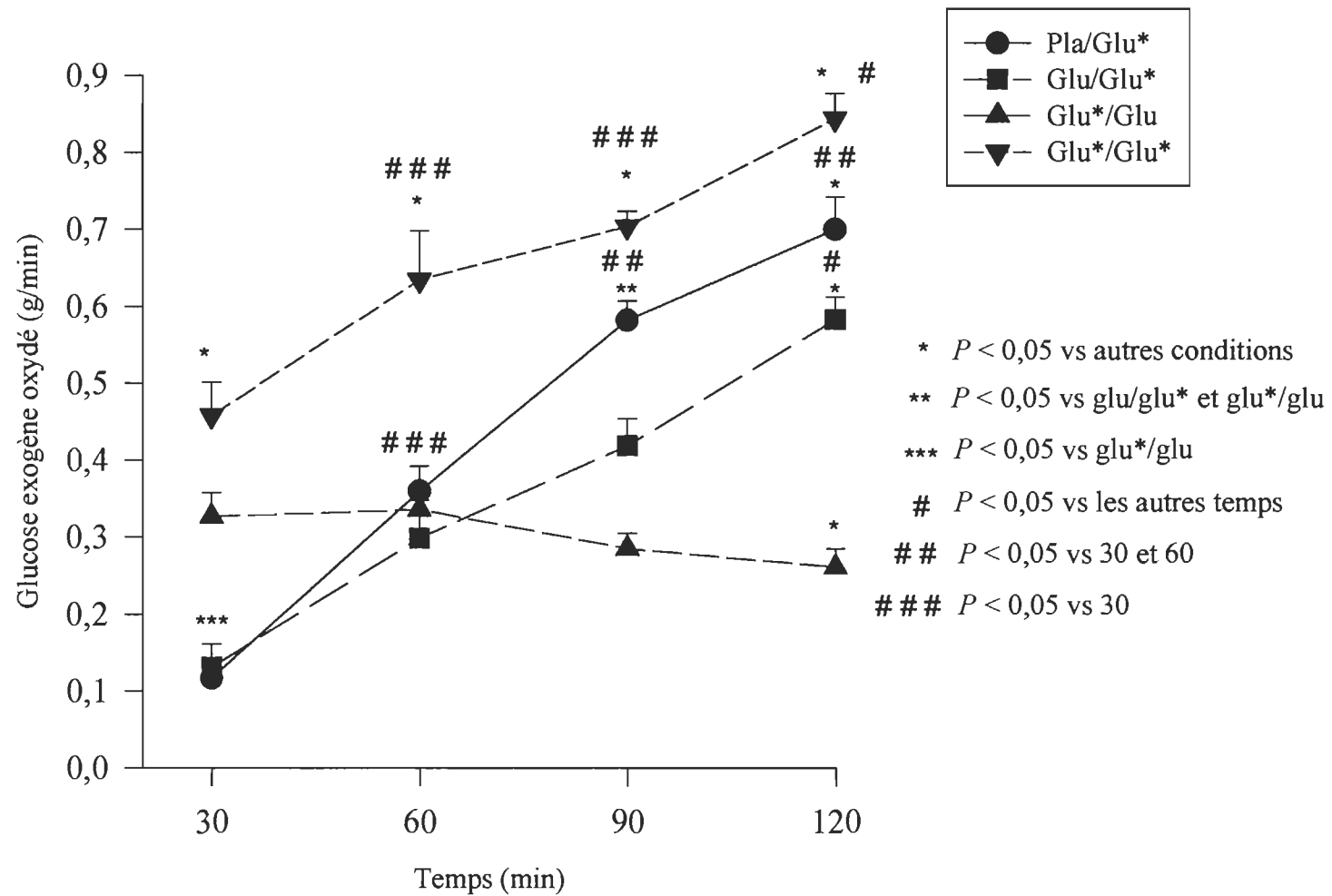


Figure 9. Cinétique de l'oxydation du glucose exogène au cours de l'exercice de 120 minutes.

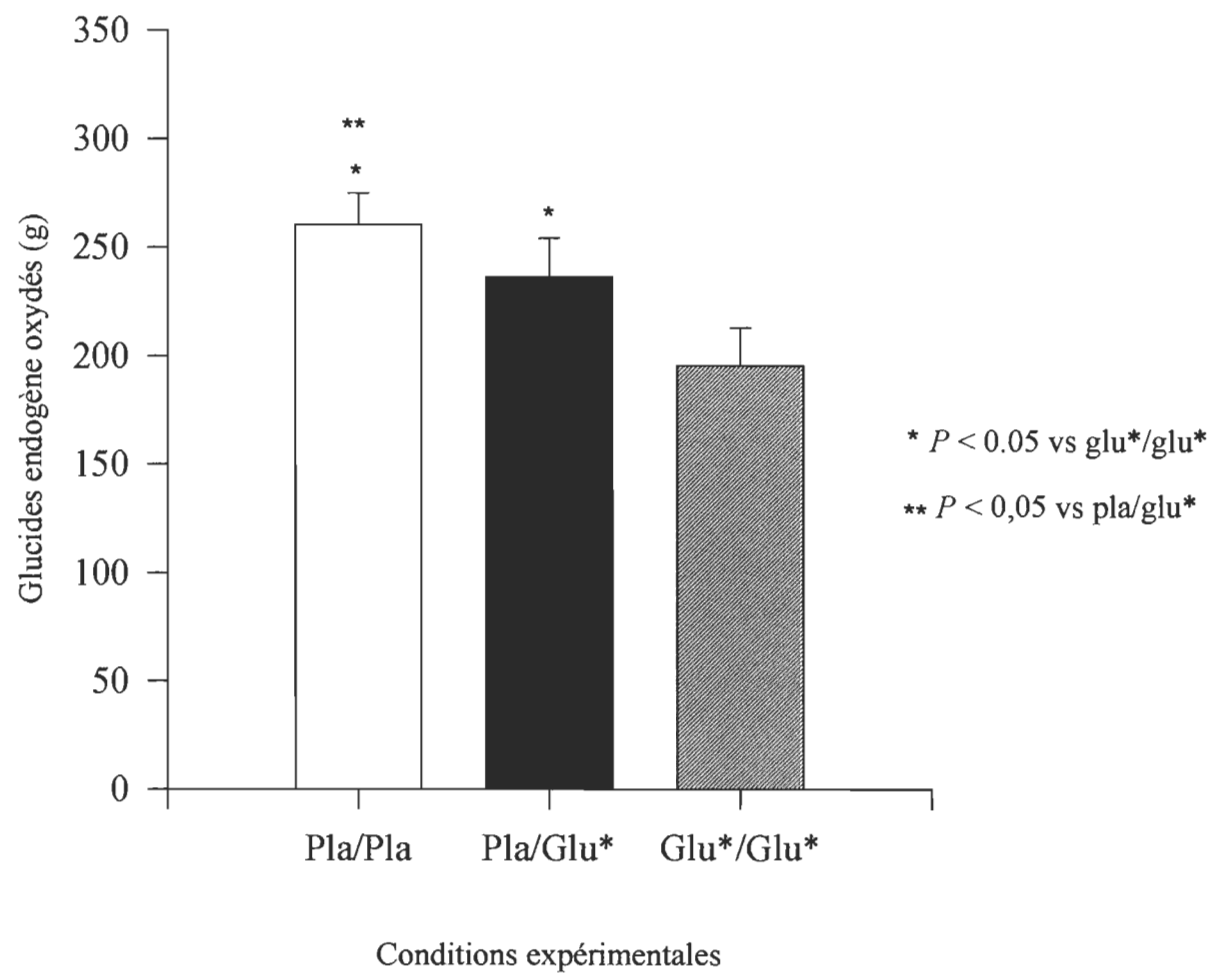


Figure 10. Quantité de glucides endogène oxydés au cours de l'exercice de 120 minutes.

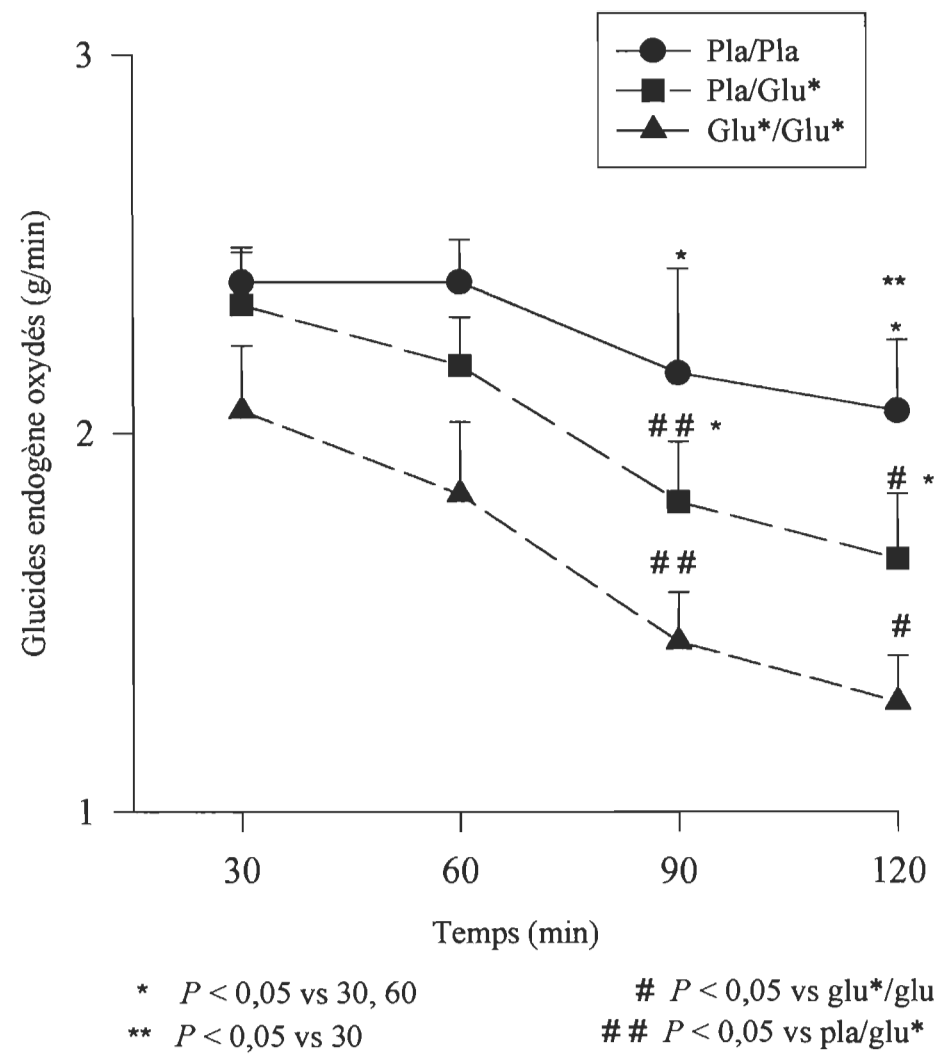


Figure 11. Cinétique de l'oxydation des glucides endogènes au cours de l'exercice.

## CHAPITRE V

### DISCUSSION

#### Résumé

Dans le but de favoriser la participation des glucides totaux à la fourniture d'énergie, nous avons tenté d'augmenter l'insulinémie au-dessus des valeurs de base pour le début de l'exercice et de maintenir l'insulinémie la plus élevée possible tout au long de l'exercice. Pour ce faire, les sujets ont ingéré une dose de 50 g de glucose 30 minutes avant le début de l'exercice d'une durée de 120 minutes et réalisé à 65 % du  $\dot{V}O_2$  max. Tel qu'escompté, l'insulinémie a augmenté suite à l'ingestion de glucose pré-exercice. L'effet de l'insulinémie a pu être vérifiée grâce aux mesures d'oxydation des lipides totaux, des glucides totaux, des glucides exogènes et des glucides endogènes.

L'ingestion de glucides exogènes, peu importe le moment de l'ingestion, a permis d'économiser les réserves endogènes de glucides ( $p < 0,05$ ). Plus la quantité de glucose exogène ingérée est élevée, plus il y a d'économie des réserves endogènes de glucides ( $p < 0,05$ ). L'ingestion de glucose pré et per exercice permet d'oxyder significativement plus de glucides exogènes qu'au cours de toutes les autres conditions ( $glu^*/glu^* : 79,2 \pm 2,96$ ;  $pla/glu^* : 52,8 \pm 2,61$ ;  $glu/glu^* : 43,0 \pm 1,45$ ;  $glu^*/glu : 36,3 \pm 2,37$ ).

Ce n'est donc pas l'insulinémie plus élevée qui a permis d'augmenter la quantité des glucides exogènes oxydés, mais bien, la quantité plus importante de glucose ingéré durant la condition  $glu^*/glu^*$ , suggérant la quantité de glucose ingérée comme potentialisateur de l'oxydation des glucides exogènes.

## Effets de l'insuline

L'entrée du glucose plasmatique dans la cellule musculaire pendant l'exercice est favorisée par la translocation des transporteurs de glucose GLUT-4 (Hayashi et al., 1997), eux-mêmes activés par la contraction musculaire (Goodyear et al., 1990) et l'insuline (Taha et al., 1999). Ce double effet qui favorise l'entrée du glucose plasmatique dans la cellule musculaire pourrait partiellement expliquer la chute transitoire de la glycémie qui est parfois rapportée dans les 30 premières minutes d'exercice lorsque du glucose est ingéré dans l'heure qui précède l'exercice (Goodpaster et al., 1996; Marmy-Conus et al., 1996; Short et al., 1997; Ventura et al., 1994). Les résultats de ces études indiquent que, lorsque comparées à une situation contrôle où 75 grammes de glucides (maltodextrine ou glucose) étaient administrés entre 30 et 60 minutes avant l'exercice, une augmentation importante de l'insulinémie (entre 4 et 8 fois les valeurs de repos) était observée en début d'exercice. Dans l'étude de Marmy-Conus et al. (1996) cette augmentation était associée non seulement à une diminution de 60% de la production hépatique de glucose, mais aussi à une double augmentation de la disparition du glucose sanguin au cours des 30 premières minutes d'exercice.

Nous avons émis l'hypothèse que l'ingestion d'une dose de glucose pré-exercice augmenterait l'insulinémie, donc l'entrée du glucose dans la cellule musculaire, favorisant ainsi l'oxydation du glucose exogène. L'oxydation des glucides exogènes a en effet été

potentialisée lors de cette condition ( $\text{glu}^*/\text{glu}^*$ ) puisque  $79,2 \pm 3,0$  grammes de glucose ont été oxydés comparativement à  $52,8 \pm 2,6$  grammes lorsque le placebo était ingéré avant l'exercice suivi de l'ingestion de glucose pendant l'exercice. Par contre, les résultats de la présente étude ne semblent pas confirmer l'hypothèse.

Lorsque 50 grammes de glucose sont ingérés 30 minutes avant le début de l'exercice, l'insulinémie était d'environ 4 fois supérieure aux valeurs du groupe contrôle en début d'exercice. Cependant, dans les études de Short et al. (1997), Goodpaster et al. (1996) et Ventura et al. (1994), lorsque 75 grammes de glucides sont ingérés 30 à 60 minutes avant le début de l'exercice, les valeurs d'insulinémie reviennent au niveau pré-exercice dans les 30 premières minutes d'exercice et ces valeurs ne sont pas différentes de la situation contrôle pour les deux heures d'exercice subséquentes. Par contre, dans l'étude de Marmy-Conus et al. (1996) dans laquelle 75 grammes de glucose sont ingérés 30 minutes avant le début de l'exercice, l'insulinémie quintuple au début de l'exercice pour ensuite diminuer dans les 30 premières minutes de l'exercice à des valeurs deux fois plus élevées que celles rencontrées avec la situation contrôle.

Dans la présente étude, des résultats similaires concernant l'insulinémie ont été observés. L'ingestion de 50 grammes de glucose 30 minutes avant l'exercice a permis d'élever transitoirement l'insulinémie pour une courte période en début d'exercice et ces valeurs sont demeurées à un niveau supérieur à la situation contrôle jusqu'à la fin de l'exercice.

Les résultats obtenus ne minimisent pas le rôle de l'insuline dans l'oxydation des glucides exogènes. L'hypothèse pourrait être vérifiée en ingérant une quantité plus importante de glucides dans les trente minutes précédant l'exercice tout en ingérant une quantité importante de glucides pendant l'exercice ou en procédant avec une approche plus invasive, soit un clamp hyperinsulinémique.

Dans les études précitées (Goodpaster et al., 1996; Marmy-Conus et al., 1996; Short et al., 1997; Ventura et al., 1994) des glucides n'étaient pas ingérés au cours de l'exercice, et conséquemment la concentration plasmatique de glucose ne dépassait pas 5,5 mmol/L après la chute transitoire de la glycémie au cours des 15 premières minutes d'exercice. Dans la présente étude, contrairement aux quatre autres citées plus haut, une quantité importante de glucose (1,33 g/min) a également été ingérée durant l'exercice. Malgré une augmentation progressive ( $p < 0,05$ ) de la glycémie (de  $4,44 \pm 0,26$  à  $6,31 \pm 0,71$  mmol/L), l'insulinémie est revenue après seulement 30 minutes aux valeurs observées lorsque le glucose était ingéré uniquement durant l'exercice.

Ces observations indiquent que l'exercice est un stimulus potentiel à la réduction de l'insulinémie, probablement via la stimulation du système sympatho-adrénergique qui vient inhiber l'insulinémie (Galbo, 1983). Ce qui pourrait expliquer dans la présente étude que l'augmentation de l'insulinémie ne perdure pas plus de 30 minutes après le début de l'exercice lorsque 50 grammes de glucose sont ingérés 30 minutes avant le début de l'exercice.

### **Oxydation du glucose exogène**

Pendant la première heure d'exercice lorsque le placebo a été ingéré avant l'exercice, le taux d'oxydation du glucose ingéré durant l'exercice était de  $0,24 \pm 0,03$  g/min. Lorsque 50 grammes de glucose étaient également ingérés 30 minutes avant le début de l'exercice, cette dose de glucose pré-exercice était rapidement disponible pour l'oxydation durant la première heure et était supérieure à l'oxydation du 160 grammes de glucose ingérés durant l'exercice ( $0,331 \pm 0,01$  g/min vs  $0,215 \pm 0,03$  g/min respectivement). Dans cette situation, les molécules de glucose provenant de l'ingestion pré-exercice étaient probablement en compétition avec les molécules de glucose de l'ingestion per-exercice, pour le transport du petit intestin vers le sang et/ou du transport du sang à la cellule musculaire. En effet tel que discuté dans Adopo et al. (1994), lorsque deux types de glucides sont ingérés ( glucose et fructose) l'oxydation exogène est plus importante que si on donne la même quantité avec un seul type de glucides, ce qui suggère qu'il y a une certaine compétition au niveau de l'absorption intestinale et/ou de l'entrée dans la cellule musculaire. Cependant, dans la première heure d'exercice le taux d'oxydation du glucose ingéré durant l'exercice n'a pas été réduit significativement avec l'ingestion de 50 grammes de glucose pré-exercice comparativement à l'ingestion d'un placebo. Bien qu'une quantité importante de l'oxydation provient des glucides exogènes, l'augmentation transitoire de l'insuline ne semble pas favoriser significativement l'oxydation du glucose ingéré pendant l'exercice. En effet, la figure 8 démontre que pendant les premières 30 minutes d'exercice l'oxydation du glucose



exogène est similaire avec l'ingestion de placebo pré-exercice et de glucose pré-exercice. Durant la deuxième heure d'exercice, lorsque le glucose était ingéré avant l'exercice le taux d'oxydation du glucose ingéré durant l'exercice était légèrement réduit (non significatif) avec une moyenne de  $0,50 \pm 0,03$  g/min comparativement à  $0,64 \pm 0,03$  g/min avec l'ingestion de placebo pré-exercice. Dans l'ensemble, ces observations confirment que l'augmentation de l'insulinémie résultant de l'ingestion pré-exercice de glucose n'était que transitoire et n'a pas potentialisé l'oxydation du glucose exogène ingéré durant l'exercice.

Nous avons émis l'hypothèse qu'en maintenant l'insulinémie la plus élevée possible au cours de l'exercice, l'oxydation du glucose exogène serait plus importante. L'insulinémie n'est pas dans ce cas-ci responsable de l'augmentation de l'oxydation des glucides exogènes puisqu'il n'y a pas de différence entre l'insulinémie de la condition pla/glu\* et glu/glu\*, alors que la quantité de glucose exogène oxydé est significativement plus élevée lors de l'ingestion de glucose pré et per exercice. Parmi les facteurs qui influencent l'oxydation des glucides exogènes, notons les deux plus importants: l'intensité de l'exercice (Pirnay et al., 1995) et la quantité de glucides ingérés (Adopo et al., 1994; Jeukendrup et al., 1999; Wagenmakers et al., 1993). Il semble donc que ce qui favorise l'oxydation des glucides exogènes lors de l'ingestion de glucose avant et pendant l'exercice soit la quantité de glucides ingérés puisque l'intensité dans cette étude est identique pour les quatre conditions (voir tableau 9).

Malgré le fait que l'oxydation augmente avec une plus grande quantité ingérée il semble y avoir un plafonnement de l'utilisation des glucides ingérés. Globalement, environ 50 % de la quantité des glucides ingérés sont oxydés. Citons l'étude de Jeukendrup et al. (1999) où l'ingestion atteint 3 g/min alors que l'oxydation maximale est de 0,94 g/min (environ 30% de l'ingestion).

Dans la présente étude, les différents modes d'ingestion n'ont pas permis d'augmenter l'oxydation des glucides totaux. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés dans la littérature lorsque des glucides sont ingérés du début à la fin de l'exercice (Bosch et al., 1994; McConnel et al., 1994; Tsintzas et al., 1995; Millard-Stafford et al., 1997).

Cependant, l'ingestion de glucose a permis de diminuer l'oxydation des glucides endogènes de 25 % et cette diminution était plus marquée dans la condition glu\*/glu\*. Ces résultats corroborent ceux de la littérature (Bosch et al., 1994; McConnel et al., 1994). Le présent protocole ne permet cependant pas de spécifier si ces économies proviennent des réserves hépatiques ou musculaires.

## CHAPITRE VI

### CONCLUSION

Les substrats énergétiques disponibles à l'exercice sont nombreux. Étant donné la moins bonne efficacité des lipides, ce sont les glucides qu'il est préférable d'utiliser. Sachant que les réserves de glucides endogènes sont insuffisantes pour maintenir un exercice intense et prolongé, l'utilisation des glucides exogènes doit être favorisée. Notre hypothèse suggérait qu'une insulínémie élevée favoriserait l'oxydation des glucides exogènes. Dans les faits, l'ingestion d'une collation pré exercice de 50 grammes de glucose 30 minutes avant le début de l'exercice n'a eu aucun effet sur l'insulínémie durant l'exercice et ce en dépit d'une augmentation transitoire au début de l'exercice. Cependant, l'ingestion de 160 grammes de glucose pendant l'exercice dans les conditions pla/glu\* et glu/glu\* a permis d'augmenter significativement l'insulínémie pendant l'exercice. En dépit de l'absence d'effet sur l'insulínémie, l'ingestion de 50 grammes de glucose pré exercice jumelée à l'ingestion d'une quantité importante de glucose pendant l'exercice permet d'optimiser la participation des glucides exogènes à la fourniture d'énergie.

## RÉFÉRENCES

- Adopo, E., Péronnet, F., Massicotte, D., Brisson, G. R. et Hilaire-Marcel, C. (1994). Respective oxydation of exogenous glucose and fructose given in the same drink during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 76, 1014-1019.
- Anantaraman, R., Carmines, A.A., Gaesser, G.A. et Weltman, A. (1995) Effects of carbohydrate supplementation on performance during 1 hour of high-intensity exercise. *International Journal of Sport Medicine*, 16 (7), 461-465.
- Below, P. R., Mora-Rodriguez, R., Gonzalez-Alonso, J. et Coyle, E.F. (1995) Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1h intense exercise. *Medecine and Science in Sports and Exercise*, 27 (2), 200-210.
- Bosch, A. N., Dennis, S. C. et Noakes, T. D. (1994). Influence of carbohydrate ingestion on fuel substrate turnover and oxidation during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*, 76 (6), 2364-2372.
- Bosch, A. N., Dennis, S. C. et Noakes, T. D. (1993). Influence of carbohydrate loading on fuel substrate turnover and oxidation during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*, 74 (4), 1921-1927.
- Bosch, A. N., Weltan, S. M., Dennis, S. C. et Noakes, T. D. (1996a). Fuel substrate kinetics of carbohydrate loading differs from that of carbohydrate ingestion during exercise during prolonged exercise. *Metabolism*, 45, 415-423.
- Bosch, A. N., Weltan, S. M., Dennis, S. C. et Noakes, T. D. (1996b). Fuel substrate turnover and oxidation and glycogen sparing with carbohydrate ingestion in non-carbohydrate-loaded cyclists. *Pflugers Archives*, 432, 1003-1010.
- Burelle, Y., Péronnet, F., Massicotte, D., Brisson, G.R. et Hillaire-Marcel, C. (1997). Oxidation of <sup>13</sup>C-glucose and <sup>13</sup>C-fructose ingested as a preexercise meal : effect of carbohydrate ingestion during exercise. *International Journal of Sport Nutrition*, 7, 117-127.
- Chryssanthopoulos, C., Williams, C., Wilson, W., Asher, L. et Hearne, L. (1994). Comparison between carbohydrate feedings before and during exercise on running performance during a 30-Km treadmill time trial. *International Journal of Sport Nutrition*, 4, 374-386.
- Dela, F., Mikines, K. J., Sonne, B. et Galbo, H. (1994). Effect of training on interaction between insulin and exercise in human muscle. *Journal of Applied Physiology*,

66, (6) 2386-2393.

- Derman, K. D., Hawley, J. A., Noakes, T. D. et Dennis, S. C. (1996). Fuel kinetics during intense running and cycling when fed carbohydrate. *European Journal of Applied Physiology*, 74, 36-43.
- Ebeling, P. et Koivisto, V.A. (1994). Non-esterified fatty acids regulate lipid and glucose oxidation and glycogen synthesis in healthy man. *Diabetologia*, 37 202-209.
- El-Sayed, M. S., Rattu, A. J.M. et Roberts, I. (1995). Effects of carbohydrate feeding before and during prolonged exercise on subsequent maximal exercise performance capacity. *International Journal of Sport Nutrition*, 5, 215-224.
- Febbraio, M. A. et Stewart, K. L. (1996) CHO feeding before prolonged exercise: effect of glycemic index on muscle glycogenolysis and exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 81, (2) 1115-1120.
- Foss, M. C., Paula, F. J. A., Paccola, G. M. G. F., Gouveia, L. M. F. B. et Piccinato, C. E. (1992). Effect of 50 and 100 g glucose loads on peripheral muscle glucose metabolism in normal man. *Diabète et Métabolisme*, 18, 78-83.
- Galbo, H. (1983). Hormonal and metabolic adaptation to exercise. New York : Thieme-Stratton.
- Gisolvi, C. V. (1996) Fluid balance for optimal performance. *Nutrition Reviews*, 54 (4), s159-s168.
- Goodpaster, B.H., Costill, D.L., Fink, W.J., Trappe, T.A., Jozsi, A.C., Starling, R.D. et Trappe, S.W. (1996) The effect of pre-exercise starch ingestion on endurance performance. *International Journal of Sports Medicine*, 17 (5), 366-372.
- Goodyear, L.J., King, P.A., Hirshman, M., Thompson, C.M., Horton, E.D. et Horton, E.S. (1990). Contractil activity increases plasma membrane glucose transporters in absence of insulin. *American Journal of Physiology*, 258, E667-E672.
- Hawley, J. A., Bosch, A. N., Weltan, S. M., Dennis, S. C. et Noakes, T.D. (1994.a). Effects of glucose ingestion or glucose infusion on fuel substrate kinetics during prolonged exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 68, 381-389.
- Hawley, J. A., Bosch, A. N., Weltan, S. M., Dennis, S. C. et Noakes, T. D. (1994.b). Glucose kinetics during prolonged exercise in euglycaemic and hyperglycaemic

- subjects. *European Journal of Physiology*, 426, 378-386.
- Hawley, J. A., Dennis, S. C., Nowitz, A., Brouns, F. et Noakes, A. (1992). Exogenous carbohydrate oxidation from maltose and glucose ingested during prolonged exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 64, 523-527.
- Hawley, J. A., Dennis, S. C. et Noakes, A. (1992). Oxidation of carbohydrate ingested during prolonged endurance exercise. *Sports Medicine*, 14 (1), 24-42.
- Hayashi, T., Wojtaszewski, J. F. P. et Goodyear, L.J. (1997). Exercise regulation of glucose transport in skeletal muscle. *American Journal of Physiology*, 273, E1039-E1051.
- Hofman, Z., Kuipers, H., Keixer, H. A., Fransen, E. J. et Servais, C. J. (1995) Glucose and insulin responses after commonly used sport feedings before and after a 1-hr training session. *International Journal of Sport Nutrition*, 5, 194-205.
- Jenkins, D. G., Hutchins, C. A. et Spillman, D. (1994). The influence of dietary carbohydrate and pre-exercise glucose consumption on supramaximal intermittent exercise performance. *British Journal of Sport Medicine*, 28 (3), 171-176.
- Jeukendrup, A., Brouns, F. et Wagenmakers, A. J. M. (1997). Carbohydrates-electrolyte feedings improve 1h time trial cycling performance. *International Journal of Sports Medicine*, 18 (2), 125-129.
- Jeukendrup, A.E., Mensink, M., Saris, W. H. M. et Wagenmakers, A. J. M. (1997). Exogenous glucose oxidation during exercise in endurance-trained and untrained subjects. *Journal of Applied Physiology*, 82 (3), 835-840.
- Jeukendrup, A. E., Saris, W. H. M., Brouns, F., Halliday, D. et Wagenmakers, A. J. M. (1996). Effect of carbohydrates (CHO) and fat supplementation on CHO metabolism during prolonged exercise. *Metabolism*, 45 (7), 915-921.
- Jeukendrup, A. E., Saris, W. H. M., Schrauwen, P., Brouns, F. et Wagenmakers, A. J. M. (1995). Metabolic availability of medium-chain triglycerides coingested with carbohydrates during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*, 79 (3), 756-762.
- Jeukendrup, A.E., Wagenmakers, A.J.M., Stegen, J.H.C.H., Gijsen, A.P., Brouns, F. et Saris, W.H.M. (1999). Carbohydrate ingestion can completely suppress endogenous glucose production during exercise. *American Journal of Physiology*, 276, E672-E683.

- Kang, J., Robertson, R. J., Denys, B. G., DaSilva, S.G., Visich, P., Suminski, R. R., Utter, A. C., Goss, F. L. et Metz, K. F. (1995). Effect of carbohydrate ingestion subsequent to carbohydrate supercompensation on endurance performance. *International Journal of Sport Nutrition*, 5, 329-343.
- Kang, J., Robertson, R. J., Goss, F. L., DaSilva, S.G., Visich, P., Suminski, R. R. et Utter, A. C. (1996). Effect of carbohydrate substrate availability on ratings of perceived exertion during prolonged exercise of moderate intensity. *Perceptual and Motor Skills*, 82, 495-506.
- Lavoie, C., Ducros, F., Bourque, J., Langelier, H. et Chiasson, J.-L. (1997) Glucose metabolism during exercise in man : the role of insulin in the regulation of glucose utilization. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 75, 36-43.
- Leese, G. P., Thompson, J., Scimgeour, C. M. et Rennie, M. J. (1996) Exercise and the oxidation and storage of glucose, maize syrup solids and sucrose determined from breath  $^{13}\text{CO}_2$ . *European Journal of Applied Physiology*, 72, 349-356.
- Leijssen, D. P. C. et Elia, M. (1996). Recovery of  $^{13}\text{CO}_2$  and  $^{14}\text{CO}_2$  in human bicarbonate studies: a critical review with original data. *Clinical Science*, 91, 665-677.
- Leijssen, D. P. C., Saris, W. H. M., Jenkendrup, A. E. et Wagenmakers, J. M. Oxidation of exogenous ( $^{13}\text{C}$ ) galactose and ( $^{13}\text{C}$ ) glucose during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 79, 720-725.
- Leverve, X., Fontaine, E. et Péronnet, F. (1996). Métabolisme énergétique. Encyclopédie Médico-Chirurgicale.. Elsevier, Paris. *Endocrinologie-Nutrition*, 10, 371-383.
- MacLaren, D.P.M., Reilly, T., Campbell, I.T. et Frayn, K. N. (1994). Hormonal and metabolite responses to glucose and maltodextrin ingestion with or without the addition of guar gum. *International Journal of Sports Medicine*, 15 (8), 466-471.
- Madsen, K., MacLean, D. A., Kiens, B. et Christensen, D. (1996). Effect of glucose, glucose plus branched-chain amino acids, or placebo on bike performance over 100 km. *Journal of Applied Physiology*, 81 (6), 2644-2650.
- Marmy-Conus, N., Fabris, S., Proietto, J. et Hargreaves, M. (1996). Preexercise glucose ingestion and glucose kinetics during exercise. *Journal of Applied*

*Physiology*, 81 (2), 853-857.

- Massicotte, D., Péronnet, F., Brisson, G., Bakkouch, K. et Hillaire-Marcel, C. (1989). Oxidation of a glucose polymer during exercise: comparison with glucose and fructose. *Journal of Applied Physiology*, 6 (1), 179-183.
- Massicotte, D., Péronnet, F., Tremblay, É. et Hillaire-Marcel, C. (1996). Lack of effect of NaCl and/or metoclopramide on exogenous ( $^{13}\text{C}$ )-glucose oxidation during exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 17, 165-169.
- McConell, G., Fabris, S., Proietto, J. et Hargreaves, M., (1994). Effect of carbohydrate ingestion on glucose kinetics during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 77 (3), 1537-1541.
- Mendenhall, L. A., Swanson, S. C., Habash, D. L. et Coggan, A. R. (1994) Ten days of exercise training reduces glucose production and utilization during moderate-intensity exercise. *American Journal of Physiology*, 266, E136-E143.
- Millard-Stafford, M., Rosskopf, L. B., Snow, T. K. et Hinson, B. T. (1997). Water versus carbohydrate-electrolyte ingestion before and during a 15-km run in the heat. *International Journal of Sport Nutrition*, 7, 26-38.
- Nicholas, C. W., Williams, C., Lakomy, H. K. A., Phillips, G. et Nowitz, A. (1995). Influence of ingesting a carbohydrate-electrolyte solution on endurance capacity during intermittent, high-intensity shuttle running. *Journal of Sports Sciences*, 13, 283-290.
- Noakes, T. D., Rehrer, N. J. et Maughan, R. J. (1991). The importance of volume in regulating gastric emptying. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23, 307-316.
- Paul, G. L., Rukusek, J. T., Dykstra, G. L., Boileau, R. A. et Layman, D. K. (1996). Oat, wheat or corn cereal ingestion before exercise alters metabolism in humans. *Journal of Nutrition*, 126, 1372-1381.
- Péronnet, F., Adopo, E. et Massicotte, D. (1992). Exogenous substrate utilization during prolonged exercise. Studies with  $^{13}\text{C}$  labelling. *Medicine and sport science*, 34, 195-206.
- Peters, H. P. F., Akkermans, L. M. A., Bol, E. et Mosterd, W. L. (1995). Gastrointestinal symptoms during exercise: The effect of fluid supplementation. *Sports Medicine*, 20 (2), 65-76.



- Pirnay, F., Scheen, A.J., Gautier, J. F. Lacroix M., Mosora, F. et Lefèbvre, P. L. (1995). Exogenous glucose oxidation during exercise in relation to the power output. *International Journal of Sports Medicine*, 16 (7), 456-460.
- Rauch, L.H.G., Bosh, A.N., Noakes, T.D., Dennis, S.C. et Hawley, J.A. (1995). Fuel utilisation during prolonged low-to-moderate intensity exercise when ingesting water or carbohydrate. *Pflügers Archives*, 430, 971-977.
- Sahlin, K., Katz, A. et Broberg, B. (1990). Tricarboxylic acid cycle intermediates in human muscle during prolonged exercise. *American Journal of Physiology*, 259, C834-C841.
- Spencer, M.K., Yan, Z. et Katz, A. (1991). Carbohydrate supplementation attenuates IMP accumulation in human muscle during prolonged exercise. *American Journal of Physiology*, 261, C71-C76.
- Seifert, J. G., Paul, G .L., Eddy, D. E., Murray, R., (1994). Glycemic and insulinemic response to preexercise carbohydrate feedings. *International Journal of Sport Nutrition*, 4, 46-53.
- Short, K.R., Sheffield-Moore, M. et Costill, D. L. (1997). Glycemic and insulinemic responses to multiple preexercise carbohydrate feedings. *International Journal of Sport Nutrition*, 7, 128-137.
- Swensen, T., Crater, G., Basset Jr., D. R. et Howley, E.T. (1994). Adding polylactate to a glucose polymer solution does not improve endurance. *International Journal of Sport Medicine*, 15 (7), 430-434.
- Taha, C. et Klip, A. (1999). The insulin signaling pathway. *The Journal of Membrane Biology*, 1969, 1-12.
- Tarnopolsky, M. A., Atkinson, S. A., Phillips, S. M. et MacDougall, J. D. (1995). Carbohydrate loading and metabolism during exercise in men and woman. *Journal of Applied Physiology*, 78 (4), 1360-1368.
- Thomas, D.E., Brotherhood, J.R. et Brand, J.C. (1991) Carbohydrate feedings before exercise: Effect of glycemic index. *International Journal of Sport Medicine*, 12 (2), 180-186.
- Tsintzas, O. K., Williams, C., Boobis, L. et Greenhaff, P. (1996). Carbohydrate ingestion and single muscle fiber glycogen metabolism during prolonged running

- in men. *Journal of Applied Physiology*, 80 (2), 801-809.
- Tsintzas, O. K., Williams, C., Singh, R., Wilson, W. et Burrin, J. (1995). Influence of carbohydrate-electrolyte drinks on marathon running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 70, 154-160.
- Van Zyl, C. G., Lambert, E. V., Hawley, J. A., Noakes, T. D. et Dennis, S. C. (1996). Effects of medium-chain triglyceride ingestion on fuel metabolism and cycling performance. *Journal of Applied Physiology*, 80 (6), 2217-2225.
- Ventura, J.L., Estruch, A., Rodas, G. et Segura, R. (1994). Effect of prior ingestion of glucose or fructose on the performance of exercise of intermediate duration. *European Journal of Applied Physiology*, 68, 345-349.
- Wagenmakers, A.J.M., Brouns, F., Saris, W.H.M. et Halliday, D. (1993). Oxidation rates of orally ingested carbohydrates during prolonged exercise in men. *Journal of Applied Physiology*, 75, 2274-2780.
- Weltan, S. M., Bosch, A. N., Dennis, S.C. et Noakes, T. D. (1998) Preexercise muscle glycogen content affects metabolism during exercise despite maintenance of hyperglycemia. *American Journal of Physiology*, 274, E93-E88.
- Williams, C., Brewer, J. et Walker, M. (1992) The effect of a high carbohydrate diet on running performance during a 30-km treadmill time trial. *European Journal of Applied Physiology*, 65, 18-24.
- Wright, D.A., Sherman, W.M. et Dernbach, A.R. (1991) Carbohydrate feedings before, during, or in combination improve cycling endurance performance. *Journal of Applied Physiology*, 71 (3), 1082-1088.